annales de l'amélioration des plantes

Trimestriel

1974

Vol. 24 . N° 4

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE
PARIS - GRIGNON
CHAIRE D'AGRICULTURE
CENTRE DE DOCUMENTATION

inra

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

ANPLA8 24 (4) 335-422 (1974)

AAP24.4

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

149, rue de Grenelle, 75007 PARIS Tél. : 551-41-09.

Directeur général : J.-M. SOUPAULT

Directeur général adjoint : J. POLY

Inspecteurs généraux : E. BILIOTTI, P. BOUVAREL, A. CAUDERON, G. FAUCONNEAU, R. FÉVRIER, P. MORNET, R. PÉRO, J. REBISCHUNG

Rédaction des Annales

Pour l'ensemble des Séries : J. POLY

Annales agronomiques.

— J. CHAUSSIDON, Chef du Département de Science du Sol, C. N. R. A.
— L. GACHON, Chef du Département d'Agronomie, 63100 Clermont-Ferrand.
— M. HALLAIRE, Chef du Département de Bioclimatologie, C. N. R. A.

Annales de l'Amélioration des Plantes.

— M. RIVES, Chef du Département de Génétique et d'Amélioration des Plantes, 33140 Pont de la Maye.

Annales de Phytopathologie.

— J. PONCHET, Chef du Département de Pathologie végétale, 06602 Antibes.

Annales de Zoologie - Écologie animale.

— E. BIBLIOTTI, Inspecteur général de la Recherche agronomique.

Annales de Zootechnie.

— A.-M. LEROY, Professeur honoraire à l'Institut national agronomique.
— A. RÉRAT, Chef du Département de Nutrition, C. N. R. Z.

Annales de Technologie agricole.

— P. DUPUY, Chef du Département de Technologie des Produits végétaux, 21034 Dijon Cedex.
— A. GUILBOT, Directeur de la Station de Biochimie et Physico-Chimie des Céréales et de leurs Dérivés C. E. R. D. I. A., Le Noyer-Lambert, 91300 Massy.
— B. L. DUMONT, Directeur du Laboratoire de Recherches sur la viande, C. N. R. Z.

Annales de Biologie animale, Biochimie, Biophysique.

— G. FAUCONNEAU, Inspecteur général de la Recherche agronomique.
— A. FRANÇOIS, Directeur de Recherche à l'I. N. R. A., Directeur du Centre national de Coordination des Études et Recherches sur la Nutrition et l'Alimentation.
— C. THIBAULT, Chef du Département de Physiologie animale, C. N. R. Z.

Annales des Sciences forestières.

— P. BOUVAREL, Inspecteur général de la Recherche agronomique, Chef du Département de Recherches forestières, C. N. R. F.
— J.-P. CHESNEAU, École nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts, 54000 Nancy.
— J. PARDÉ, Directeur de la Station de Sylviculture et de Production, C. N. R. F.

Annales de Génétique et de Sélection animale.

— P. MÉRAT, Directeur de la Station de Génétique factorielle, C. N. R. Z.
— B. VISSAC, Chef du Département de Génétique animale, C. N. R. Z.

Apidologie (Revue franco-allemande, co-édition I. N. R. A.-Deutscher-Imkerbund).

— J. LOUVEAUX, Directeur de la Station de Recherches sur l'Abeille et les Insectes sociaux, 91440 Bures sur Yvette.

Annales de Recherches vétérinaires.

— P. MORNET, Inspecteur général de la Recherche agronomique.

Annales d'Hydrobiologie.

— R. FÉVRIER, Inspecteur général de la Recherche agronomique.
— C. THIBAULT, Chef du Département de Physiologie animale, C. N. R. Z.
— R. VIBERT, Chef du Département d'Hydrobiologie, 64200 Biarritz.

ADMINISTRATION ET SECRÉTARIAT DE LA RÉDACTION

Service des Publications de l'I. N. R. A., route de Saint-Cyr, 70800 VERSAILLES, Tél. : 950-75-22

ANNALES DE L'AMELIORATION DES PLANTES

VOL. 24 N° 4 1974

Nom de l'emprunteur	Emprunté le	Remis le

annales de l'amélioration des plantes

Trimestriel

1974

Vol. 24 . N° 4

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

Reproduction, même partielle, interdite sans autorisation des auteurs
et de l'Institut national de la Recherche agronomique
à l'exception des résumés

Ann. Amélior. Plantes, 1974, **24** (4), 335-348.

ÉTUDE DES RELATIONS MÉTRIQUES DANS LA SPIRALE MAJEURE DE DEUX PAIRES DE CHROMOSOMES DE *LOLIUM PERENNE* L.

P. de REFFYE et S. ESSAD*

I. F. C. C., B. P. 1827, Abidjan (République de Côte-d'Ivoire)
** Station de Génétique et d'Amélioration des Plantes, Centre national de Recherches agronomiques, I. N. R. A., 78000 Versailles (France)*

RÉSUMÉ

On considère classiquement que le chromosome est constitué d'une spirale majeure, elle-même formée d'une spirale mineure. Si l'on connaît la longueur, le diamètre, et le nombre de spires d'un bras de chromosome, il devient alors possible de connaître la longueur de la spirale majeure développée par la formule :

$$L = \sqrt{l^2 + \pi^2 n^2 D^2}$$

Le fait expérimental remarquable est que si les trois paramètres précédents sont variables, la longueur développée reste constante et caractéristique d'un chromosome donné. Ceci permet d'aborder divers problèmes d'une nouvelle manière. Ainsi on peut remplacer la longueur relative du chromosome, utilisée habituellement dans l'établissement des caryogrammes, par la longueur développée de sa spirale majeure. La fin de métaphase parait être le moment unique où tous les chromosomes sont dans le même état de spiralisation.

L'étude parallèle et expérimentale menée sur la spiralisation d'un ruban métallique permet de mieux comprendre les formules trouvées sur le chromosome. Ainsi on peut expliquer le fait expérimental que les petits chromosomes se contractent plus vite que les grands, le fait que les bras de chromosomes ont en métaphase le même diamètre et le fait que le rapport bras court sur bras long d'un chromosome garde une valeur constante.

I. — INTRODUCTION

L'identification métrique des chromosomes en métaphase de mitose, en vue d'établir le caryogramme d'une espèce, s'appuie actuellement sur deux paramètres traités selon une méthode statistique (ESSAD, ARNOUX, MAIA, 1966).

Ces paramètres sont des rapports de longueurs. Dans une plaque métaphasique

on définit pour chaque chromosome : d'une part, le rapport bras court sur bras long (C/L) qui caractérise la position du centromère, et d'autre part le rapport de la longueur du chromosome sur la longueur moyenne des chromosomes de la plaque soit : T/θ avec $T = L + C$ et $\theta = \Sigma T/n$.

L'emploi de ces mesures relatives est justifié par le fait que, d'une cellule à l'autre, les longueurs absolues de chromosomes peuvent varier considérablement. Mais comme ces variations se réalisent dans le même sens pour l'ensemble des segments des chromosomes, les longueurs relatives ont des variances beaucoup plus faibles que celles de longueurs absolues et justifient alors l'emploi de tests statistiques.

Un autre moyen de contrôler « l'effet cellule » est de choisir comme unité de mesure une paire de chromosomes facilement identifiable (CAROLI et BLIXT, 1953). C'est la méthode que nous avons essayé de préciser en introduction au présent travail dont les grandes lignes ont été précédemment présentées (de REFFYE et ESSAD, 1973).

II. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les plantes dont les chromosomes ont été étudiés sont issues de 3 populations naturelles de *Lolium perenne* L. récoltées à Florac (Lozère), Susa et San Marino (Italie). Un complément de mesures a été obtenu à partir des documents photographiques ayant servi de base au travail publié par ESSAD, ARNOUX et MAIA (l. c).

Les préparations chromosomiques ont été réalisées selon la méthode de Feulgen avec une préfixation de 2 heures par l'α-monochloronaphtalène.

Les 38 plaques métaphasiques retenues ont été photographiées et tirées sur papier avec un grandissement de 3 400 ×. Les mesures ont été effectuées sur les photographies à l'aide d'un décimètre finement gradué en millimètres.

Le caryogramme de référence est celui obtenu par ESSAD et coll. (l. c.). Les deux chromosomes ***a*** et ***e*** sont comparables par leur symétrie mais différents par leur taille. Pour des raisons de simplification évidentes, nous avons conservé les lettres ***a*** et ***e*** pour représenter les longueurs respectives de ces chromosomes dans les formules utilisées. La figure 1 présente un échantillonnage de chromosomes ***a***.

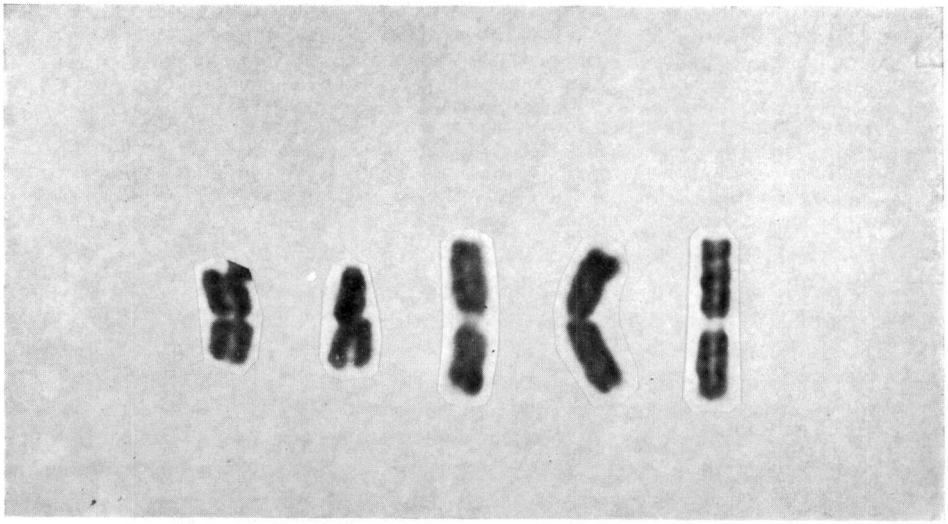


FIG. 1. — *Représentation photographique de quelques chromosomes* ***a*** *du* Lolium perenne L. (3 400 x)

III. — VARIATION DE LA LONGUEUR RELATIVE DU CHROMOSOME *a* EN FONCTION DU CHROMOSOME *e*

1. — *Données expérimentales*

La figure 2 montre que les valeurs a/e et e sont liées par une corrélation linéaire hautement significative $r = -0{,}9$. Les paramètres de la droite de régression $a/e = B + A(e)$ ont pour valeurs $B = 1{,}58$ et $A = -0{,}029$.

On constate par ailleurs que, lorsque e est grand, a/e tend vers 1, donc a tend vers e. Par contre, lorsque e est contracté, on a $a > e$. La contraction de e est donc plus rapide que celle de a puisque, partant de l'égalité $a = e$ lorsque les chromosomes sont peu contractés, on arrive à $a/e = 1{,}3$ pour la contraction maximale.

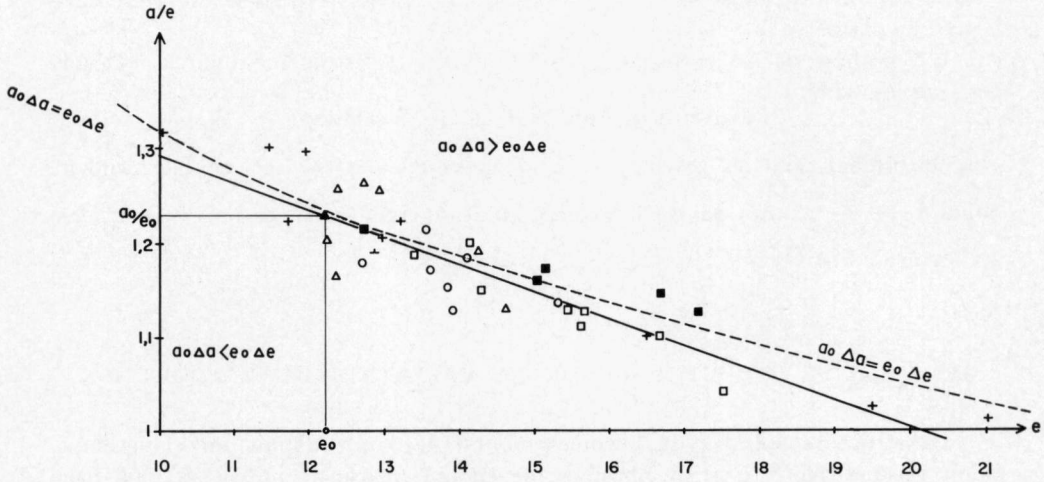


FIG. 2. — *Évolution du rapport des longueurs a/e en fonction de la longueur e*

○ Florac 3
■ Florac 1
□ Susa 2
△ San Marino 4
▲ Cellule San Marino 1293
\+ Autres *Lolium perenne*
— Régression observée

2. — *Essais d'ajustement à une loi mathématique*

La droite de régression $a/e = B + A(e)$ représente l'état de contraction relatif du chromosome a en fonction du chromosome e. Tous les couples $(a/e, e)$ représentent donc des valeurs discrètes de la contraction continue des chromosomes d'une cellule théorique. La dispersion des points autour de la droite ne dépasse pas celle qui est imputable à l'imprécision des mesures. Dans ces conditions, on peut considérer la cellule « San Marino 1293 » comme représentant la fin d'une métaphase normale. Si a_0 et e_0 désignent les longueurs des chromosomes a et e de cette cellule, les variations de longueurs dans une cellule quelconque seront mesurées par :

$$\Delta a = a - a_0 \text{ et } \Delta e = e - e_0$$

Les données expérimentales montrent que le petit chromosome (***e***) se contracte plus vite que le grand chromosome (***a***). Supposons donc au départ que les variations de longueurs Δa et Δe sont inversement proportionnelles aux longueurs ao et eo, ce qui revient à dire que pour toute cellule, nous formulons l'hypothèse fondamentale :

$$ao\ \Delta a = eo\ \Delta e$$

qui est l'équation d'une hyperbole (fig. 2) ; celle-ci passe d'une façon satisfaisante au milieu des points expérimentaux.

La tangente à cette hyperbole au point ($a/e o$, eo) vaut :

$$a/e = \left(\frac{2\ ao}{eo} - \frac{eo}{ao}\right) - \left(\frac{ao}{eo} - \frac{eo}{ao}\right)\frac{e}{eo}$$

A partir des valeurs relevées pour la cellule de référence « San Marino 1293 » pour laquelle $ao = 15$ et $eo = 12{,}2$, la droite calculée a pour équation numérique : $a/e = 1{,}64 - 0{,}033\ e$ alors que la droite de régression avait pour équation : $a/e = 1{,}58 - 0{,}029\ e$. Ces deux droites sont très proches du fait que l'hyperbole est plate dans la partie considérée.

L'hypothèse $ao\ \Delta a = eo\ \Delta e$ peut être vérifiée statistiquement par la méthode des couples, soit :

$$(eo\ \Delta e - ao\ \Delta a)i = d_i \qquad (i = \text{cellule } i)$$

On obtient pour les 38 cellules : $\bar{d} = 0{,}2$ et $S\bar{d} = 1{,}15$. Le test t de Student donne $t = \dfrac{0{,}2}{1{,}15} = 0{,}17$ qui est largement au-dessous du seuil 5 p. 100 (= 2,04 avec 37 degrés de liberté).

IV. — BASE STRUCTURALE DE LA VARIATION DU RAPPORT a/e

La structure spiralée du chromosome est reconnue depuis fort longtemps. Selon DARLINGTON (1934), le chromosome en métaphase de mitose est constitué d'une spirale formée elle-même d'une spirale mineure. Dans certaines conditions favorables, on discerne d'ailleurs aisément la spirale majeure au microscope optique. Nous avons ainsi été conduits à rechercher l'explication des phénomènes décrits précédemment par le comportement de telles structures spiralées.

1. — *Relations mathématiques dans une hélice* (fig. 3)

Soit une hélice enroulée autour d'un cylindre de diamètre D. L'angle d'une tangente à l'hélice en un point quelconque avec un plan perpendiculaire aux génératrices du cylindre est constant : on l'appelle inclinaison de l'hélice (θ). L'enroulement est effectué par ailleurs sur une longueur du cylindre l avec un nombre de spires n, enfin, la longueur développée de l'hélice est représentée par le symbole L. Ces paramètres sont liés par les relations suivantes :

$$l = \mathrm{L} \sin \theta$$
$$\pi\ n\ \mathrm{D} = \mathrm{L} \cos \theta$$

$$\boxed{\mathrm{L} = \sqrt{l^2 + \pi^2\ n^2\ \mathrm{D}^2}}$$

Il faut remarquer que si **L** est une constante, à un angle donné correspond une longueur ***l*** et une seule. Par ailleurs, avec une longueur ***l*** donnée, il existe de nombreuses possibilités pour les paramètres ***n*** et **D** qui sont inversement proportionnels et liés par la relation $\pi\, n\, D$ = constante.

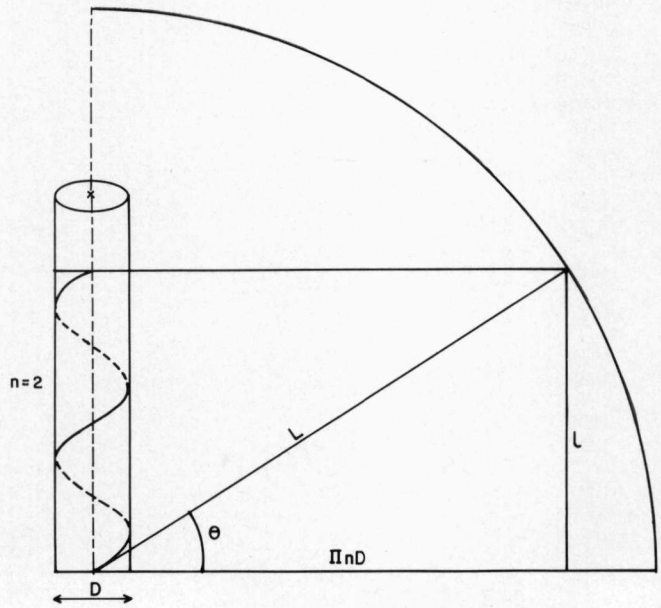


FIG. 3. — *Relations mathématiques dans l'hélice cylindrique.*

Les paramètres sont : la longueur développée **L**, la hauteur ***l***, le nombre de spires ***n***, le diamètre du cylindre d'enroulement **D** et l'inclinaison θ. On a les relations suivantes :

$$\pi n D = L \cos\theta$$
$$l = L \sin\theta$$
$$L = \sqrt{l^2 + \pi^2 n^2 D^2}$$

2. — *Rectification des chromosomes* a *et* e

Si l'on considère les chromosomes ***a*** et ***e*** comme parfaitement symétriques, les bras de chaque chromosome sont équivalents. Par analogie avec l'hélice nous appellerons **D** le diamètre d'un bras, ***n*** le nombre de spires apparentes de ce bras, enfin *a*/2 ou *e*/2 la longueur d'un bras d'un chromosome ***a*** ou ***e***.

Les longueurs développées de ces bras de chromosomes sont désignés respectivement par **A/2** et **E/2**. Le détail des rectifications est donné pour le chromosome ***a*** (tabl. 1 et 2). Il convient de souligner que seuls ont été rectifiés les bras dont la structure spiralée était apparente et non déformée.

Les tableaux 1 et 2 montrent que, malgré la variabilité du nombre de spires, du diamètre et surtout des longueurs contractées, la longueur développée de la spirale majeure d'un bras est une constante caractéristique du chromosome ***a*** dans et entre les populations : A/2 = 25,7 ± 1.

On observe la même stabilité pour le chromosome ***e*** et l'on obtient pour 15 cellules la valeur moyenne E/2 = 20,7 ± 0,6.

TABLEAU I

Longueurs développées A/2 des chromosomes **a**

Plantes et cellules	*a*/2	*n*	D	A/2
San Marino 4				
1342	8,5	4	2,1	27,7
1338	7,5	3,5	2,3	26,3
—	7,5	4	2	26,2
1339	8,1	3,5	2,3	26,5
1293	7	3	2,5	24,6
—	8,2	3,5	2,2	25,5
1342	8,5	4	1,7	24,1
Florac 1				
1334	9	4	2	26,7
1333	8,5	3	2,6	25,9
—	8	4	2	26,4
1291	9	4	2	26,7
1286	8	3,5	2,1	24,4
1287	9	3,5	2,1	24,7
1290	8	3	2,5	24,9
Florac 3				
1317	7,7	4	2	26,3
—	10	4	1,9	25,9
1320	6,1	3	2,7	26,1
1315	8	4	1,9	25,2
1296	8	4	2	26,4
1319	6,5	3	2,3	23,7
1316	9	4	1,9	25,5
Susa 2				
1344	9	4	2	26,6
1282	7,9	3,5	2,3	26,5
1285	8	3,5	2,2	25,3
1284	9	4	1,9	25,5
1280	8	3	2,4	23,9
1279	8,5	3	2,4	24,2
1283	8,5	3,5	2,5	28,7
Susa 3				
1325	8	4	2	26,4
1327	8	3	2,5	24,9
1329	8,7	3,5	2,1	24,7
1322	9,5	3,5	2,1	25
1324	8	3,5	2,3	26,5
1326	8,5	3	2,6	25,9
1323	9,2	3	2,5	25,3

TABLEAU 2

Récapitulation des valeurs obtenues pour les paramètres l, n, D, et les longueurs développées L (= A/2) *sur 5 plantes*

Plantes	Nombre d'observations	$a/2$	n	D	A/2	s
Susa 2	7	8,41	3,50	2,24	25,4	1,5
Susa 3	7	8,56	3,36	2,30	25,6	1
Florac 1	7	8,50	3,64	2,18	25,8	1,3
Florac 3	7	7,90	3,71	2,10	25,7	1
San Marino 4	7	7,90	3,64	2,16	25,5	1,5

Les distributions des longueurs développées **A** et **E** sont, de plus, nettement séparées et ne justifient pas l'emploi de tests statistiques de discrimination.

On remarque en outre que la dispersion des valeurs autour des moyennes A/2 et E/2 se situe à l'intérieur des valeurs extrêmes dues à l'imprécision des mesures. En effet la formule

$$L_c = \sqrt{l^2 + \pi^2 n^2 D^2}$$

permet d'estimer la part d'imprécision qui revient à chaque facteur :

$$L_c = \frac{l\,\Delta l}{L_c} + \frac{\pi^2 n^2 D^2 \Delta n}{L_c} + \frac{\pi^2 n^2 D^2 \Delta D}{L_c}$$

pour les chromosomes on estime que

$$\Delta l = 0{,}2 \text{ mm}$$
$$\Delta n = 0{,}5 \text{ spire}$$
$$\Delta D = 0{,}1 \text{ mm}$$

pour un chromosome ***e*** on a en moyenne

$$L_c = 20{,}7 ; \quad l = 7 ; \quad n = 3 ; \quad D = 2$$

d'où

$$l \times \Delta l/L_c = 0{,}05 \text{ mm}$$
$$\pi^2 D^2 n\, \Delta n/L_c = 2 \text{ mm}$$
$$\pi^2 n^2 D\, \Delta D/L_c = 1 \text{ mm}$$

d'où $\Delta L_c = 0{,}05 + 2 + 1 = 3$ mm. Et on note que le double de l'écart-type observé des distributions expérimentalement obtenues pour les chromosomes ***a*** et ***e*** est de 2 mm. On remarque de plus que l'erreur commise sur les longueurs des bras est négligeable par rapport à celle que l'on peut commettre sur le diamètre et le nombre de spires.

3. — *Évolution des longueurs* a *et* e *en fonction du temps*

L'évolution des longueurs ***a*** et ***e*** en fonction du temps peut être étudiée à partir de la figure 4 où, sur 2 cercles concentriques de rayons **A** et **E**, on porte, parallèlement à l'axe vertical, les longueurs ***ao*** et ***eo*** respectivement. La droite ***ao eo*** passe

sensiblement par l'origine, ce qui s'explique aisément puisque $A/E = 1{,}24$ et $ao/eo = 1{,}23$. Les chromosomes ***a*** et ***e*** de la cellule de référence « San Marino 1293 » ont donc même angle θ ($= \theta o$) c'est-à-dire même nombre de spires par unité de longueur.

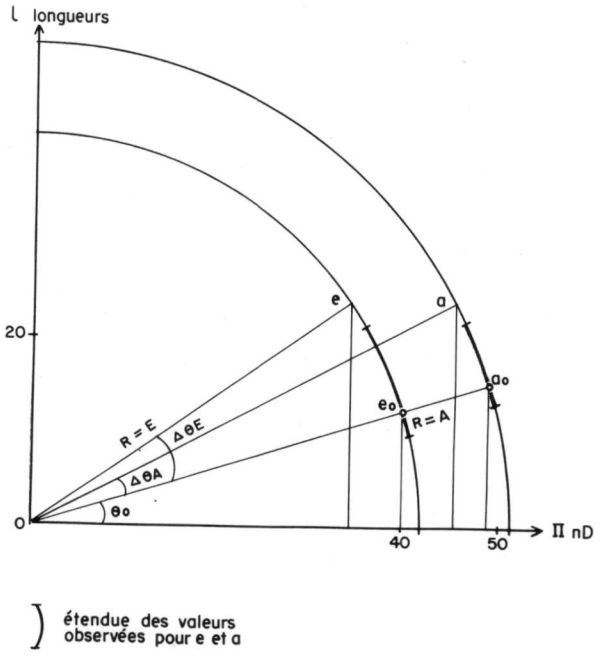


FIG. 4. — *Signification géométrique de l'égalité* $E^2 \triangle\theta_E = A^2 \Delta\theta_A$
Les secteurs circulaires $e\ o\ e_o$ et $a\ o\ a_o$ sont égaux pour $a = e = 23{,}5$
$A = 51{,}4$ $E = 41{,}4$ $a_o = 15{,}0$ $e_o = 12{,}2$

D'autre part nous avons les relations suivantes :

$$ao = A \sin \theta o \qquad eo = E \sin \theta o$$
$$\Delta a = A \cos \theta o\ \Delta\theta A \qquad \Delta e = E \cos \theta o\ \Delta\theta E$$
$$ao\ \Delta a = A^2 \sin \theta o \cos \theta o\ \Delta\theta a \qquad eo\ \Delta e = E^2 \sin \theta o \cos \theta o\ \Delta\theta E$$

On possède en outre l'équation $ao\ \Delta a = eo\ \Delta e$ dont on tire :

$$A^2\ \Delta\theta A = E^2\ \Delta\theta E$$

or $1/2\ A^2\ \Delta\theta A$ représente la surface du secteur circulaire de rayon A et d'angle $\Delta\theta A$ et $1/2\ E^2\ \Delta\theta E$ le secteur circulaire de rayon E et d'angle $\Delta\theta E$. Ces deux secteurs sont donc égaux et les angles $\Delta\theta A$ et $\Delta\theta E$ se sont ouverts pendant le même temps Δt. On peut donc admettre que les aires balayées par les rayons **A** et **E** sont proportionnelles au temps. Si **T***o* est le temps associé à la cellule « San Marino 1293 », la cellule ***i*** dont les chromosomes ***a*** et ***e*** ont les angles θA et θE mettra le temps ($Ti - To = \Delta T$) pour que les angles θA et θE deviennent $\theta A = \theta E = \theta o$, la cellule « San Marino 1293 » que nous considérons comme une fin de métaphase normale est donc la seule cellule dont les chromosomes soient dans un même état de contraction.

Cela étant, on peut donc poser les équations suivantes :

$$A^2\,\Delta\theta A = E^2\,\Delta\theta E = C\,\Delta T \qquad \text{où} \qquad C \text{ est une constante}$$

d'où :

$$\theta A = \theta o + \frac{C\,\Delta T}{A^2} \qquad \theta E = \theta o + \frac{C\,\Delta T}{E^2}$$

Les longueurs des chromosomes ***a*** et ***e*** s'écrivent alors :

$$a = A \sin\left(\theta o + \frac{C\,\Delta T}{A^2}\right); \qquad e = E \sin\left(\theta o + \frac{C\,\Delta T}{E^2}\right)$$

$$\Delta a = \frac{C}{A} \cos\left[\theta o + \frac{C\,\Delta T}{A^2}\right]\Delta T; \qquad \Delta e = \frac{C}{E} \cos\left[\theta o + \frac{C\,\Delta T}{E^2}\right]\Delta T$$

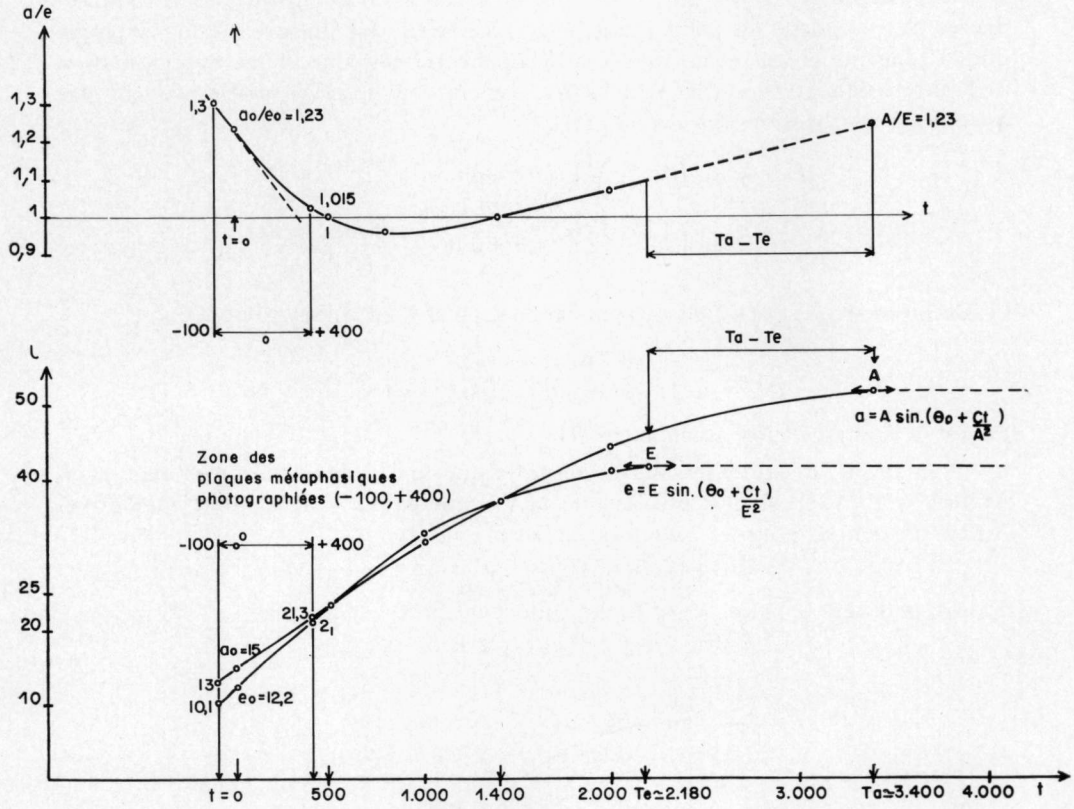


FIG. 5. — *Représentation graphique de l'évolution simultanée des longueurs apparentes des chromosomes* ***a*** *et* ***e*** *et de leur rapports en fonction du temps*

A partir de ces formules il est possible de tracer les courbes (fig. 5) représentant l'évolution des longueurs ***a*** et ***e*** et du rapport ***a***/***e*** en fonction du temps. On a $\theta o = 0{,}29$ et arbitrairement on a pris $C = 1$. Le paramètre t se trouve donc exprimé en unités arbitraires et l'origine des temps est $To = o$ pour l'angle θo.

Enfin pour plus de facilité de construction on a pris :

$$\Delta T > o \Rightarrow \Delta a,\ \Delta e > o$$

mais, dans le sens de la contraction, il faut considérer l'évolution du temps de droite à gauche.

La spirale majeure du chromosome ***a*** commence sa contraction en avance sur celle du chromosome ***e***. La figure 5 montre que cela est nécessaire pour que ces 2 chromosomes arrivent en même temps en fin de contraction, pour $t = To = 0$ en raison de la contraction plus rapide du petit chromosome.

Enfin il existe une zone où le chromosome ***e*** est plus grand que le chromosome ***a***.

Le plus grand couple observé ($a = 21{,}3$; $e = 21$) se situe près de l'égalité ($a = e = 23{,}5$). Il est intéressant de constater que les quelques couples qui se sont contractés au-delà de $To = t = 0$ se situent aussi sur ces courbes. Sur la figure 5 ont été portés les 2 couples extrêmes et le couple (ao, eo). On voit qu'ils se situent d'une façon très satisfaisante sur ces courbes. La courbe a/e en fonction de ***t*** se déduit des deux précédentes. Au voisinage du point (ao/eo, o) le phénomène est linéaire. Ce qui explique que la tangente en ce point trouvée au chapitre III soit une bonne approximation de la droite de régression (fig. 2). En effet, dans la zone observée, ***a*** et ***e*** peuvent être assimilés à des fonctions linéaires du temps :

$$a = \mathrm{A} \sin\left(\theta o + \frac{\mathrm{C}t}{\mathrm{A}^2}\right) \simeq \mathrm{A} \sin \theta o + \frac{\cos \theta o \times \mathrm{C}t}{\mathrm{A}}$$

$$e = \mathrm{E} \sin\left(\theta o + \frac{\mathrm{C}t}{\mathrm{E}^2}\right) \simeq \mathrm{E} \sin \theta o + \frac{\cos \theta o \times \mathrm{C}t}{\mathrm{E}}$$

Ces dernières expressions donnant, par élimination de ***t***, en tenant compte que $\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{E}} = \frac{ao}{eo}$

$$a/e = \left[2\,\frac{ao}{eo} - \frac{eo}{ao}\right] - \left[\frac{ao}{eo} - \frac{eo}{ao}\right] \times \frac{e}{eo}$$

qui est la droite calculée au chapitre III.

Remarque : Il est intéressant de constater que dans la zone observée l'expression $\mathrm{A}^2\,\Delta\theta\mathrm{A} = \mathrm{E}^2\,\Delta\theta\mathrm{E}$ est plus précise que la formule $ao\,\Delta a = eo\,\Delta e$ dont elle dérive. A titre d'exemple, pour les 2 couples extrêmes nous avons :

$$(a = 13,\ e = 10{,}1)\ ; \qquad (a = 21{,}3,\ e = 21)$$

d'autre part (fig. 6) $ao\,\Delta a = eo\,\Delta e$ est équivalent à

$$1/2\ \mathrm{A}\,\Delta a = 1/2\ \mathrm{E}\,\Delta e$$

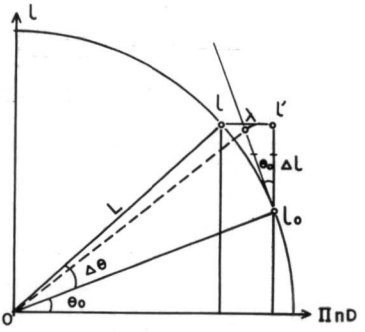


FIG. 6. — *Mise en évidence de la relation qui lie les courbes expérimentales de la figure 4 et la formule théorique* $l = \mathrm{L} \cos \frac{kn}{\mathrm{L}}$

et on trouve expérimentalement :

$$1/2\ A^2\ \Delta\theta A = 230 \qquad 1/2\ E^2\ \Delta\theta E = 240$$
$$1/2\ A\ \Delta a = 213 \qquad 1/2\ E\ \Delta e = 226$$

V. — ANALOGIE AVEC LA SPIRALE CYLINDRIQUE

A. — *Étude expérimentale de la spiralisation d'un ruban métallique*

Prenons un ruban métallique gradué en millimètres. Fixons une extrémité et tordons l'autre de 2π, 4π, $2n\pi$. Il se forme une spirale cylindrique.

Cette spirale est en position d'équilibre si elle n'est ni trop étirée ni trop lâche. Nous observons d'autre part les phénomènes suivants (fig. 7) :

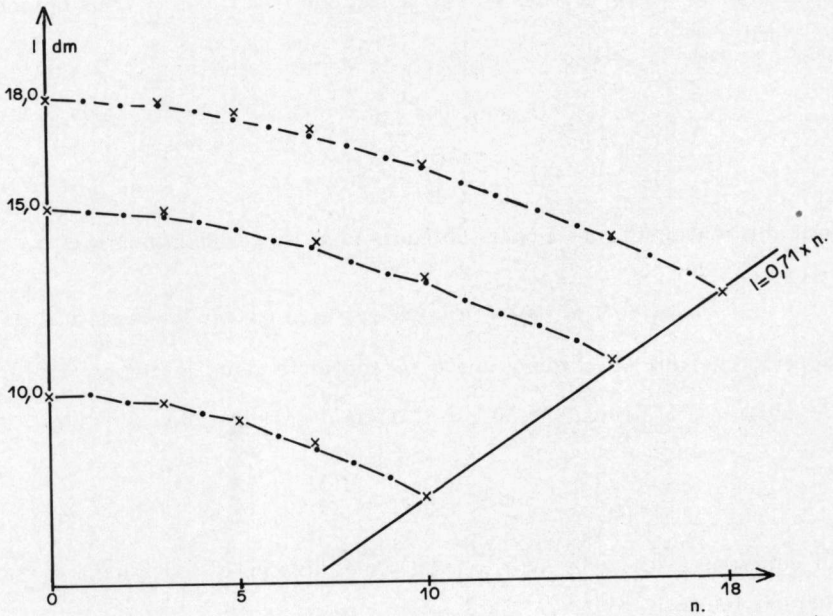


FIG. 7. — *Comparaison de la spiralisation expérimentale d'un ruban métallique* (•—•—•) *et des valeurs théoriques* (×) *obtenues par la formule* $l = L.\cos\frac{kn}{L}$

— il existe un nombre de spires maximum par unité de longueur que l'on ne peut dépasser (ici 1 spire/dm),

— le diamètre de la spirale diminue légèrement avec la torsion,

— si l'on porte en ordonnées la longueur de la spirale e en fonction de la torsion $2\pi n$ imposée à une longueur L de ruban (L = 20, 30, 40, 50, 60, 90, 100, 120, 150, 180, 200 cm) on constate que toutes les courbes obtenues sont homothétiques : c'est donc qu'elles ne dépendent que de L et de n/L.

— la figure 7 montre que ces courbes s'ajustent rigoureusement à la famille des courbes de type $e = \mathbf{L}\cos\frac{kn}{L}$ où k est une constante caractéristique du ruban (ici $k = 0{,}78$).

Enfin supposons qu'il n'y ait pas de résistance à l'enroulement et appliquons à l'extrémité libre du ruban **L** un moment cinétique constant, **M**, entraînant une vitesse de rotation constante. Nous pouvons alors écrire les équations suivantes :

$$M = J \frac{dn}{dt}$$

(J est le moment d'inertie du ruban et donc proportionnel à L).

$$J = \alpha L$$

Nous obtenons donc :

$$\frac{dn}{dt} = \frac{M}{\alpha L}$$

d'où

$$n = \left(\frac{M}{\alpha}\right) \times \frac{t}{L} \qquad (Cte = o)$$

Si l'on remplace n par sa valeur dans la formule $l = L \cos \frac{kn}{L}$ nous obtenons, si l'on pose $\frac{kM}{\alpha} = C'$:

$$l = L \cos \frac{C't}{L^2}$$

$$\Delta l = -\frac{C'}{L} \sin \frac{C't}{L^2} \times \Delta t$$

Ces formules sont analogues à celles obtenues pour les chromosomes ***a*** et ***e***.

B. — *Analogie de la spirale cylindrique avec les chromosomes* a *et* e

Considérons que le chromosome ***a*** se contracte dans le temps. La formule $A^2 \Delta\theta A = C \Delta t$ devient $A^2 \Delta\theta A = -C \Delta t$ avec $\theta A = \frac{\pi}{2}$ si $t = o$, d'où

$$\theta A = \pi/2 - \frac{C \Delta t}{A^2}$$

ce qui équivaut à $\theta A = \theta o + \frac{C \Delta t}{A^2}$, la seule différence concernant le sens et l'origine des temps.

Les équations du chapitre IV deviennent alors :

$$a = A \sin \left(\pi/2 - \frac{Ct}{A^2}\right) \qquad \text{d'où } a = A \cos \frac{Ct}{A^2}$$

pour la spirale cylindrique nous avions $l = L \cos \frac{C't}{L^2}$; ces deux formules sont parfaitement équivalentes. On a donc de plus $\pi/2 - \theta = kn/L$. *L'analogie entre les équations d'une spirale cylindrique et celles du chromosome est bien démontrée.*

DISCUSSION

Le premier résultat intéressant et dont dépendent tous les autres est la constance de la longueur de la spirale majeure d'un chromosome donné.

Cette constance s'explique par l'application du mécanisme de spiralisation au squelette invariable du chromosome et en admettant par analogie avec un modèle mécanique que l'ébauche de la spirale majeure ne peut apparaître que lorsque la spirale mineure qui la précède a atteint sa spiralisation maximale. Celle-ci correspond à une longueur constante qui est la longueur développée de la spirale majeure.

Le deuxième point notable est qu'*il existe un moment et un seul en métaphase où les chromosomes* a *et* e *sont spiralés de la même manière*, avec le même nombre de spires par unité de longueur. Ce fait est caractérisé par la valeur $\theta A = \theta E = \theta o$ qui existe dans une cellule (San Marino 1293). On a pu vérifier que dans cette cellule tous les autres chromosomes ont également le même angle θo par la formule $lo = L \sin \Theta o$. En dehors de ce cas particulier, les chromosomes d'une même cellule sont tous dans un état de spiralisation différente, et leurs longueurs ne sont plus strictement comparables entre elles. D'autre part, les données expérimentales démontrent que, des petits chromosomes ***a*** et ***e***, le petit se contracte plus vite que le grand. La quantification du phénomène montre que celui-ci doit commencer à s'enrouler plus tôt que le premier pour arriver également contracté au même moment avec $\theta A = \theta E = \theta o$. Ceci doit être vrai pour tous les chromosomes puisqu'ils présentent tous l'angle θo en même temps. *Il existe donc un asynchronisme initial qui aboutit à un synchronisme final de la contraction des différents chromosomes d'une même cellule en mitose.*

Ceci soulève cependant un problème puisque le rapport c/l de tous les chromosomes, même asymétriques, demeure sensiblement constant pendant le cours de la métaphase, cette constance ayant précisément permis l'établissement même des caryogrammes. Il faut donc admettre que les rapports d'enroulement dans le temps des bras d'un même chromosome dissymétrique sont différents de ceux que l'on constate entre chromosomes dans le cas simple des chromosomes symétriques. Or les relations métriques démontrées sont probablement fondamentales et identiques pour l'ensemble des bras de chromosomes quelles que soient leurs longueurs. Dans ces conditions, les équations des bras se présentent de la façon suivante :

$$l = L \sin \left[\theta o + \frac{kt}{(L+C)^2}\right]$$

$$c = C \sin \left[\theta o + \frac{kt}{(L+C)^2}\right]$$

d'où $c/l = C/L$

Il en résulte que l'on doit admettre que les deux bras d'un même chromosome présentent un enroulement simultané. Ceci revient à dire que *le contrôle du déclenchement et de la vitesse d'enroulement est réalisé par chromosome* et qu'il est, comme on l'a vu plus haut, fonction de la longueur totale du chromosome. Ce comportement n'entraîne *a priori* aucune conséquence quant au sens d'enroulement respectif des deux bras de chromatide qui n'a pu être précisé sur ce matériel. Les études publiées sur ce sujet montrent en effet qu'en méiose (Darlington et Vosa, 1963) ou en mitose (Ohnuki, 1968), les bras de chromatides sont susceptibles de s'enrouler soit dans le même sens, soit en sens inverse.

On peut aussi expliquer le fait que le temps d'enroulement de la spirale majeure est proportionnel au carré de la longueur développée ; en effet :

$$TA = \left(\frac{\pi/2 - \theta o}{C}\right) A^2 ; \qquad TE = \left(\frac{\pi/2 - \theta o}{C}\right) E^2$$

L'analogie avec le ruban métallique, montre que le temps d'enroulement est d'abord proportionnel à la longueur à enrouler et ensuite proportionnel à la masse de la longueur à enrouler. Or, cette dernière est proportionnelle à la longueur. On a donc $TL = k L^2$.

La figure 4 montre, par ailleurs, que la contraction du chromosome est très lente au début et très rapide à la fin. Ces phénomènes expliquent bien la courte durée de la métaphase par rapport à la prophase surtout si l'on considère la nécessité de réalisation de la spirale mineure.

Enfin, l'analogie trouvée entre le ruban métallique spiralé et le chromosome établit clairement que les lois qui régissent l'évolution des formes et dimensions du chromosome sont fondamentalement celles qui régissent d'une façon générale les structures spiralées soumises à des forces de torsion.

Reçu pour publication en février 1974.

REMERCIEMENTS

Nous remercions nos collègues M. A. DALEBROUX et Y. DEMARLY dont les remarques nous ont permis d'améliorer la présentation définitive du manuscrit.

SUMMARY

METRIC RELATIONS IN THE MAJOR SPIRAL OF TWO PAIRS OF *LOLIUM PERENNE* CHROMOSOMES

The origin of this work is based on the study of the relative lengths of both symmetrical chromosome pairs of *Lolium perenne* L. Thus it appears a significant relation which depends on the degree of contraction of the chromosomes in each cell. The search for a law that governs this phenomenon leads to consider chromosomes as helical structures whose rate of contraction is inversely proportional to their uncoiled length, i. e. to the length of the major spiral following DARLINGTON's terminology. This length is obtained from a mathematical rectification formula through the necessary parameters measured on suitable photographic reproductions of metaphase plates. The estimation obtained is remarquably constant for a particular chromosome type. The study of the spiralization of a metallic ribbon allows to demonstrate the strict analogy of the formulas thus obtained with those given by the chromosomes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BOUASSE H., 1920. *Résistance des matériaux.* Bibliothèque scientifique de l'Ingénieur et du Physicien. Delagrave Ed., Paris, 563 p.

CAROLI G., BLIXT S., 1953. The morphology of the chromosomes of *Pisum*. *Agri Hort. Genet.*, **11**, 133-140.

DARLINGTON C. D., 1937. *Recent advances in cytology.*, Churchill Ed., London, 2d ed., 671 p.

DARLINGTON C. D., VOSA C. G., 1963. Bias in the internal coiling direction of chromosomes. *Chromosoma*, **13**, 609-622.

ESSAD S., ARNOUX J., MAIA N., 1966. Contrôle de validité des caryogrammes. Application au caryotype de *Lolium perenne* L. *Chromosoma*, **20**, 202-220.

OHNUKI Y., 1968. Stucture of chromosomes. I. Morphological studies of the spiral structure of human somatic chromosomes. *Chromosoma*, **25**, 402-428.

REFFYE (de) P., ESSAD S., 1973. Sur l'existence possible d'une unité naturelle de longueur des chromosomes métaphasiques de *Lolium perenne* L. *C. R. Acad. Sci.* Sér. D, **276**, 2661-2664.

Ann. Amélior. Plantes, 1974, **24** (4), 349-376.

RECHERCHES SUR LA CANNE DE PROVENCE (*ARUNDO DONAX* L.) EN VUE DE SA PRODUCTION ET DE SA TRANSFORMATION EN PÂTE A PAPIER

M. ARNOUX

avec la collaboration technique de H. BLAYAC, L. CLAPAREDE et S. MEYNIE

Station d'Amélioration des Plantes,
Centre de Recherches agronomiques de Montpellier,
École nationale supérieure agronomique,
34060 Montpellier Cedex

RÉSUMÉ

Arundo donax L., espèce sauvage jamais étudiée ni cultivée antérieurement, est l'objet, depuis dix ans environ, à la Station d'Amélioration des Plantes de Montpellier, d'études très variées en vue de sa production et de sa transformation en pâte à papier. La biologie et la physiologie de la plante, les techniques culturales favorisant un rendement élevé en cellulose, la technologie des opérations de récolte, manutention, conditionnement et conservation, l'aspect économique de cette culture nouvelle ont été les sujets principaux des premières recherches qui sont rapportées dans ce mémoire.

INTRODUCTION

La consommation française de papiers et cartons a triplé depuis 1950 : elle est passée de 32 kg à 92 kg par habitant et par an. Elle n'arrive cependant qu'au 15e rang dans le monde, loin derrière les États-Unis d'Amérique (260 kg) et la Suède (182 kg). Cette consommation devrait encore doubler au cours des dix prochaines années.

Dans cette conjoncture, la forêt, principale source de cellulose papetière ne satisfait plus les exigences de l'industrie et 40 p. 100 environ des besoins français sont actuellement couverts par des importations.

« Dans l'Europe de l'Ouest, pour produire près de 16 millions de tonnes de papiers et cartons en 1972, les pays de la C. E. E. ont utilisé environ 9 millions de pâtes à

papier et 5,5 millions de tonnes de vieux papiers récupérés. Mais sur les 9 millions de tonnes de pâtes utilisées, il n'en a été produit que 5 millions dans la Communauté, le reste ayant été importé.

Pour produire ces 5 millions de tonnes, les 6 pays de la C. E. E. ont utilisé plus de 25 millions de stères de bois dont 19 millions seulement provenaient des forêts de la C. E. E. (Pour la France, 10 millions de stères utilisés, dont 8, 8 nationaux).

Donc, aussi bien sur le plan de la pâte à papier que sur le plan du bois, la C. E. E. dépend de l'extérieur pour une part importante de ses fournitures, ce qui nuit à l'équilibre de sa balance commerciale.

Une étude suédoise montre que pour les seuls besoins en pâtes de l'Europe de l'Ouest, le déficit en bois s'accroît comme l'indique le tableau 1.

TABLEAU I

Déficit en bois de l'Europe de l'Ouest (1970-1980)

Millions de m³	1969	1975	1980
Disponibilités	148	180	210
Consommation	163	205	250
Déficit	— 15	— 25	— 40

Au point de vue des panneaux de fibres et de particules la situation est semblable et l'on manque de sources d'approvisionnement » (PARIAT, 1973).

Aussi, et malgré tous les efforts entrepris pour améliorer la production et l'exploitation des massifs forestiers, d'autres sources de cellulose naturelle seraient utiles à l'industrie papetière, tout au moins tant que celle-ci transformera un produit d'origine végétale.

C'est pourquoi la Délégation générale à la Recherche scientifique et technique promouvait en 1963 une action de recherches concertées « Agriculture-Industrie », en vue de détecter, produire, améliorer, transformer, toute plante annuelle susceptible d'offrir un complément de ressources pour la fabrication de pâtes à papier.

Depuis cette époque, la Station d'Amélioration des Plantes de Montpellier, en étroite collaboration avec de nombreux organismes publics et privés, agricoles et industriels, étudie différents végétaux annuels ou à exploitation annuelle susceptibles de convenir au débouché envisagé.

Parmi les espèces éprouvées (ARNOUX, 1962 ; ARNOUX et COTTE, 1966 ; ARNOUX et COTTE, 1969), la Canne de Provence (*Arundo donax* L.) a présenté une aptitude insoupçonnée pour la fabrication de différentes sortes de papier. Sa valeur technologique « se rapproche plus de celle des bois feuillus que de celle des végétaux annuels habituellement utilisés en papeterie » (LAPEZE et ÉMERY, 1966). « ... Les rendements, lors des traitements chimiques, sont parfaitement acceptables et les frais de fabrication de la pâte sont de l'ordre de grandeur de ceux couramment rencontrés lors de l'utilisation des bois feuillus ou résineux... Les pâtes de canne, sans être de qualité supérieure, offrent néanmoins la possibilité d'obtenir des papiers d'impression

et d'écriture et également de pliage mince aux propriétés mécaniques et physiques intéressantes... En définitive, la conclusion générale est que la Canne de Provence peut être retenue comme matière fibreuse pour la papeterie... » (BOUCHAYER et BERNARD, 1969).

L'espèce exprimait par ailleurs des qualités agronomiques meilleures que celles des autres plantes étudiées et notamment un très bon rendement par hectare et par an en cellulose (environ vingt fois supérieur à celui d'un feuillu traditionnel).

Aussi, compte tenu des résultats positifs qui étaient progressivement enregistrés et devant l'intérêt croissant exprimé par l'industrie et la profession agricole, *Arundo donax* L. devenait l'objet principal de recherches nombreuses et variées en vue de résoudre les différents problèmes agronomiques, technologiques, industriels, économiques posés par sa production et sa transformation sur une grande échelle.

Au moment où ces recherches trouvent un aboutissement puisque les premières cultures sont en cours d'installation, il paraît opportun d'en présenter une synthèse qui situe le problème, expose les principaux domaines d'études et les données actuellement acquises, mais laisse le soin à des mémoires ultérieurs de rapporter les résultats obtenus pour chacun des thèmes de travail abordés.

EXPOSÉ DU PROBLÈME

Espèce typique des paysages méditerranéens, la Canne de Provence est en fait encore fort mal connue. Elle n'a jamais, semble-t-il, nulle part dans le monde et dans quelque domaine que ce soit, fait l'objet de recherches importantes. Les botanistes sont perplexes sur son origine et sur l'époque de son introduction dans le bassin méditerranéen. Les données concernant sa biologie sont extrêmement rares (ONOFRY, 1940) et, à l'origine des travaux, son comportement agronomique était totalement inconnu. Seuls deux exemples de culture, actuellement abandonnés, n'ayant d'ailleurs motivé aucune publication détaillée, et somme toute peu instructifs, ont pu être découverts dans le monde (ONOFRY, 1952 ; ARNOUX, 1963).

Tout devait donc être entrepris pour essayer d'adapter à la culture une « plante sauvage », pour en maîtriser et en mécaniser l'exploitation, pour envisager son amélioration, pour analyser enfin son intérêt par rapport aux principales cultures auxquelles elle pourrait se substituer ainsi qu'aux bois qu'elle pourrait remplacer.

Il a fallu tenir compte, en outre, du caractère vivace d'*Arundo donax* qui, bien qu'exploitée annuellement, occupe le sol pendant une longue période : en fait la décision a été prise de baser toutes les études et tous les calculs sur une durée d'exploitation de dix ans.

Le problème, original, très vaste, a exigé de nombreuses collaborations qu'il a fallu acquérir puis maintenir dans le cadre d'une concertation permanente : chercheurs d'autres disciplines de l'I. N. R. A. : Agronomie, Physiologie végétale, Pathologie, Économie rurale ; Sociétés d'aménagement du territoire : Bas-Rhône Languedoc, Côteaux de Gascogne, Landes de Gascogne, Canal de Provence ; Organismes spécialisés dans le Machinisme agricole : Centre national d'Étude et d'Expérimentation du Machinisme agricole, Constructeurs privés ; Structures de recherches industrielles : Centre technique de l'Industrie du Papier, Centres de Recherches

de divers groupes papetiers ; Laboratoires d'Études de Société françaises et étrangères de produits chimiques ; Ateliers spécialisés dans le domaine économique relevant de l'I. N. R. A., de l'Inspection générale du G. R. E. F. Provence-Côte d'Azur, du Centre provençal de Comptabilité et d'Économie rurale, de la Compagnie du Bas Rhône-Languedoc ; structures professionnelles et interprofessionnelles enfin, au niveau du développement.

Au fil des années, avec l'accroissement des programmes, les superficies expérimentales qui occupaient quelques dizaines d'ares en 1960 ont été largement étendues puisqu'elles couvrent plus de vingt-cinq hectares en 1973. Elles constituent un réseau d'essais s'étendant de la plaine de la Crau au Sud-Est jusqu'aux départements du Gers et de la Gironde au Sud-Ouest. Tout en permettant d'observer le comportement et la productivité de l'espèce en sols et climats variés ces essais mettent à l'épreuve de nombreuses techniques culturales. La matière première obtenue est utilisée pour l'étude des problèmes de transport, de conditionnement, de stockage avant de servir aux essais de fabrication papetière.

Actuellement, en fonction des résultats obtenus et des positions prises aussi bien par les Pouvoirs publics que par les producteurs et les transformateurs éventuels, une action de développement est en cours. Elle concerne surtout les régions de programme Provence-Côte d'Azur et Midi-Pyrénées. L'originalité de l'entreprise, l'interdépendance des partenaires, ont imposé la mise en place de structures de dialogue et ont conduit à la création d'un Groupement d'Intérêt économique d'études, dans lequel siègent à parité producteurs et industriels.

L'objectif définitif est, dans le Sud-Est, l'implantation de 20 000 hectares, soit la superficie nécessaire pour alimenter une usine à créer dont la capacité de fabrication serait de 500 tonnes de pâtes par jour.

Dans le Sud-Ouest, les superficies actuellement envisagées sont nettement moins importantes car elles ne doivent servir qu'à compléter l'approvisionnement en matière première d'une usine locale.

Mais, avant d'arriver à ce stade, des vérifications s'imposent et différentes étapes doivent être franchies. Producteurs et industriels, au sein de leur organisation actuelle, ont ainsi prévu tout d'abord la mise en place, en Provence, d'une opération « pilote » couvrant 2 000 hectares environ. Celle-ci, considérée à la fois comme une dernière expérimentation « en vraie grandeur » et, en cas de succès, comme un premier palier vers la réalisation de l'objectif définitif est en cours d'installation. Les premiers contrats de culture ont en effet été signés récemment et 300 hectares seront plantés au cours de l'hiver 1973-1974.

LA PLANTE

Arundo donax semble exister à l'état spontané ou subspontané dans la plupart des régions chaudes et tempérées du monde. Les botanistes sont perplexes sur l'origine de cette graminée géante, du groupe des Panicoïdées, très abondante dans le sud de la France, notamment près de la Méditerranée ; plus rare dans la zone septentrionale des Pyrénées, elle se rencontre encore dans l'extrême Sud-Ouest, au bord de l'Atlantique.

L'espèce paraît exigeante en chaleur, lumière et humidité ; selon un vieux dicton méridional « la Canne de Provence doit avoir la tête au soleil et les pieds dans l'eau ». Les peuplements naturels sont le plus souvent situés le long de ruisseaux, rivières ou canaux, aux abords d'étangs ou de marais, mais jamais en terrains marécageux car les souches sont asphyxiées par une submersion prolongée et meurent.

La Canne de Provence aime les sols profonds, légèrement sableux et frais. Les terres alluvionnaires lui conviennent très bien, tandis que les terrains salés ou saumâtres affectent gravement sa croissance.

FIG. 1. — *Touffe de Canne de Provence* (en floraison)

La plante se présente sous forme de touffes dont les tiges dressées et raidies peuvent atteindre cinq à six mètres de hauteur et deux à trois centimètres de diamètre (fig. 1) ; son appareil souterrain vivace colonise en permanence le sol grâce à ses rhizomes traçants sur lesquels naissent des bourgeons qui perpétuent la plante.

Ces bourgeons donnent des tiges dont les premières, dans le sud de la France, sortent de terre fin mars. Puis apparaissent constamment de nouveaux rejets dont l'élongation respective est variable ; toute croissance active cesse fin septembre, époque à laquelle se fait la mise à fleur.

Mais cette mise à fleur n'est pas régulière chaque année, en tous milieux, sur toutes les plantes. De plus, la Canne de Provence ne fructifie jamais en France : il en est de même semble-t-il, dans l'ensemble du bassin méditerranéen et dans la plupart des régions du monde.

La coupe des tiges se fait normalement en hiver, de décembre à mars. Si celles-ci ne sont pas récoltées, la plupart de leurs bourgeons axillaires entrent en activité au printemps suivant pour donner des ramifications qui s'allongent jusqu'en été. Ces « cannes de deux ans », dont la taille reste constante, meurent au cours de l'hiver qui suit : certaines cependant survivent, émettent de nouveaux rameaux à partir des bourgeons de leurs ramifications, pour finalement mourir avec le retour des froids hivernaux.

Mais pendant le second cycle végétatif, la deuxième année, de nouvelles tiges apparaissent au milieu de ces « cannes de deux ans ». Comme les précédentes, elles croissent, fleurissent ou non, émettent des ramifications pendant un ou deux ans si elles ne sont pas coupées, puis meurent à leur tour.

Il est ainsi difficile de préciser le cycle évolutif normal de la partie aérienne tandis que la durée de vie de l'appareil souterrain est en principe indéfinie.

1. — *L'appareil aérien*

Les tiges de Canne de Provence, qui constituent la matière première utilisée par l'industrie, sont creuses et comportent une cavité médullaire importante. Elles présentent, sous un épiderme cutinisé, une zone fibreuse distincte, puis un parenchyme médullaire assez homogène dans lequel se trouvent noyés les faisceaux libéro-ligneux entourés d'une gaine fibreuse dont l'importance va en décroissant quand on se rapproche du centre de la tige (Bouchayer et Bernard, 1965).

Les fibres sont d'aspect robuste, relativement longues, cylindriques, avec des extrémités régulièrement effilées, au lumen souvent filiforme assez difficile à voir. Les dimensions de ces fibres sont les suivantes :

	canne de 1 an	*canne de 2 ans*
	—	—
longueur moyenne en mm	1,19	1,19
— maximale —	3,9	4,7
— minimale —	0,15	0,15
largeur moyenne en μ	16,0	17,0
— maximale en μ	36,0	40,8
— minimale en μ	7,2	7,2

Les résultats de l'analyse chimique du végétal frais sont donnés par le tableau 2.

Le rythme de sortie et l'élongation des tiges émises par une souche en place varient dans le temps :

a) *Rythme d'apparition des tiges.*

L'observation régulière, pendant un cycle, d'un certain nombre de souches d'un clone local fournit les résultats exprimés par le tableau 3 qui illustre un phénomène général dans le cas où une coupe est régulièrement pratiquée chaque année.

TABLEAU 2

Analyse chimique des tiges de Canne de Provence
(Centre technique de l'Industrie des Papiers)

	Tige	Feuilles et gaines
Lignine (%)	21	24,1
Pentosanes (%)	20,1	17,9
Extrait à l'éther	0,5	2,58
Extrait à l'alcool/benzène	6,09	6,10
Extrait à l'eau chaude	15,8	16,5
Cendres (%)	2,52	10,9
SiO_2	1,05	4,15
Fe_2O_3-Al_2O_3	0,58	0,58
CaO	0,155	1,73
MgO	0,01	0,93
K_2O	1,60	4,76
Na_2O	0,04	0,15

TABLEAU 3

Rythme d'apparition des tiges (dans le cas d'une coupe annuelle)

Périodes de sortie des tiges	Cannes émises		Cannes récoltées		Pourcentages de cannes récoltées / cannes émises
	nombre	p. 100	nombre	p. 100	
Du 15 mars au 15 avril	155	29,6	126	40,6	81
Du 16 au 30 avril	118	22,5	91	29,4	77
Mois de mai	26	4,9	22	7	85
Mois de juin	54	10,1	47	15,1	87
Mois de juillet	57	10,9	24	7,6	42
Mois d'août	19	3,6			
Mois de septembre	54	10,3			
Mois d'octobre	39	7,5			
Total	522	100	310	100	59

N. B. : 162 bourgeons apparaissent après octobre, au cours de l'hiver ; ils ne s'allongent pas et sont détruits par le gel.

Quatre périodes peuvent ainsi être distinguées :

— *mars-avril :* 50 p. 100 environ de toutes les tiges d'un cycle annuel apparaissent alors ; elles constitueront ensuite, du fait de pertes diverses en cours de végétation, 70 p. 100 du nombre de cannes récoltées ;

— *mai :* 5 p. 100 des sorties de l'année se font au cours de cette période de « repos » de la souche ;

— *juin-juillet :* une nouvelle émission de cannes est observée, moins importante que celle du printemps, mais qui représente cependant 20 p. 100 environ du nombre total de rejets ;

— *août-février :* des tiges apparaissent régulièrement, dont la fréquence relative mensuelle est peu élevée ; mais elles ne fournissent jamais de cannes exploitables, soit à cause d'une croissance insuffisante, comme c'est déjà le cas à partir de juillet (cf. p. 100 cannes récoltées/cannes émises), soit parce qu'elles seront détruites par le gel au cours de l'hiver.

Ainsi, au total, plus de 50 p. 100 des bourgeons initiés par une souche au cours d'un cycle annuel sont perdus et les cannes récoltées proviennent essentiellement de deux périodes de sortie : printemps et été, dans une proportion respective de l'ordre de 70 p. 100 et 20 p. 100. Ces proportions s'appliquent au nombre de tiges ; elles seront quelque peu différentes en matière de poids sec car, comme il sera exposé ci-après, la croissance des deux types de tiges n'est pas la même.

Ce rythme d'apparition peut être modifié par différents facteurs. Lorsque la récolte est biennale par exemple, au cours du deuxième cycle, au milieu des cannes non coupées de l'année précédente, les sorties de printemps sont moins nombreuses, la période de « repos » du mois de mai n'existe pratiquement plus tandis que les cannes émises en été sont en plus grand nombre.

Le vieillissement d'une souche, ainsi que l'accroissement de la densité des tiges qui l'accompagne, a également une influence sur le rythme d'apparition des rejets : dans ce cas en effet, les sorties de printemps deviennent prépondérantes puisqu'elles dépassent alors régulièrement 80 p. 100 environ du nombre des cannes émises.

b) *Croissance des tiges.*

La durée et l'intensité de la croissance varient en fonction des époques de sorties.

Les cannes de printemps croissent pendant 110 jours environ avec une période d'élongation active de l'ordre de 60 jours ; pour les cannes d'été, ces durées sont respectivement de 80 jours et de 45 à 50 jours (fig. 2).

Mais, malgré ces durées réduites, les tiges d'été atteignent toujours une hauteur et un diamètre plus élevés du fait de conditions de milieu plus favorables et peut-être aussi du fait de l'activité photosynthétique des cannes des sorties antérieures.

Le nombre d'entre-nœuds décroît d'ailleurs avec la tardiveté des sorties, et, en conséquence, la longueur de ceux-ci est nettement plus grande.

D'autre part, la croissance active des cannes en place diminue fortement dès que commencent à croître des tiges plus jeunes, apparues postérieurement (fig. 3).

En résumé, plus l'époque de sortie d'une tige est tardive, plus celle-ci est longue et épaisse, donc lourde. Le nombre des entre-nœuds est plus réduit et ceux-ci sont plus longs. Mais, dans tous les cas, la durée de croissance active est limitée, même si les conditions de milieu sont favorables, à une période relativement courte sépa-

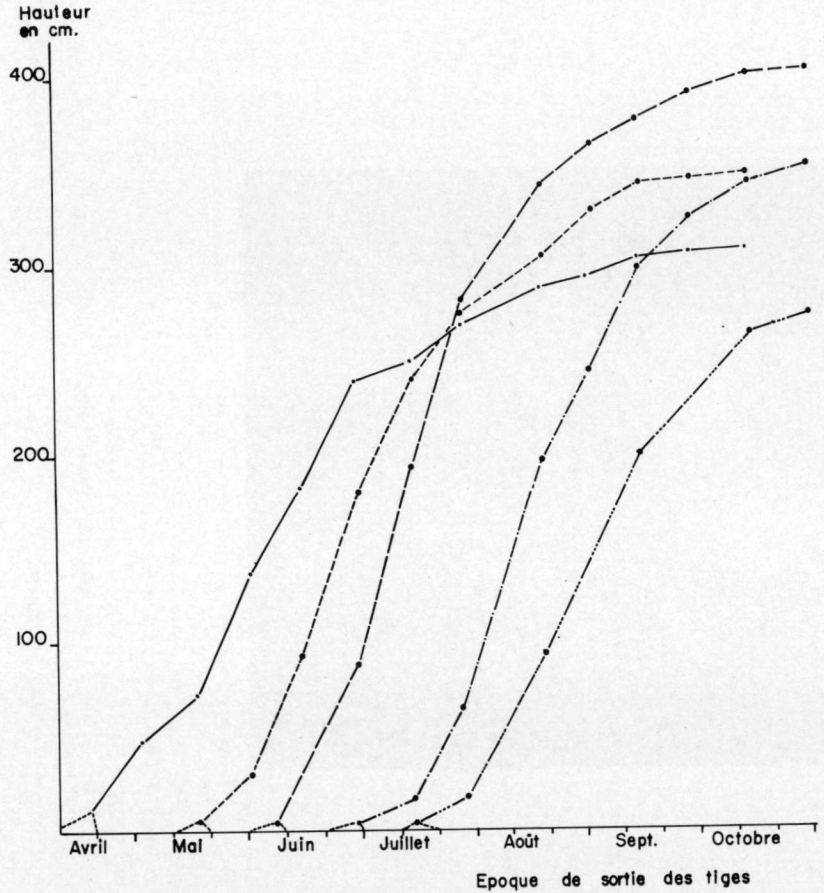


FIG. 2. — *Croissance des tiges des différentes époques de sortie*

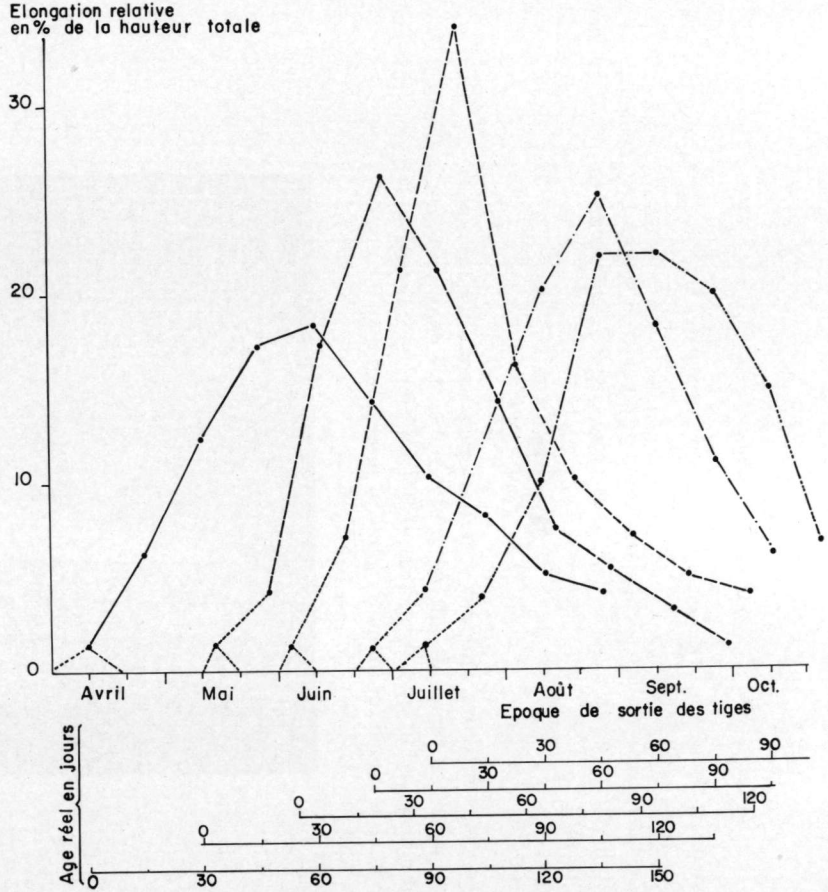


FIG. 3. — *Élongation relative* (en p. 100 de la hauteur totale) *des tiges de différentes époques de sortie*

rant deux époques de sortie, car l'élongation intense des tiges d'un âge donné inhibe celle de tiges plus âgées.

La teneur en matière sèche enfin augmente jusqu'en septembre, demeure stable en octobre, lors de la mise à fleur, puis croît ensuite à nouveau jusqu'au moment de la récolte.

2. — *L'appareil souterrain*

La croissance de l'appareil souterrain peut être ainsi résumée :

— après un temps de latence très variable, les deux premiers bourgeons de la base d'une canne (fig 4) croissent dans le sol pour former une tige souterraine (rhizome) d'une longueur et d'un diamètre plus ou moins grands ;

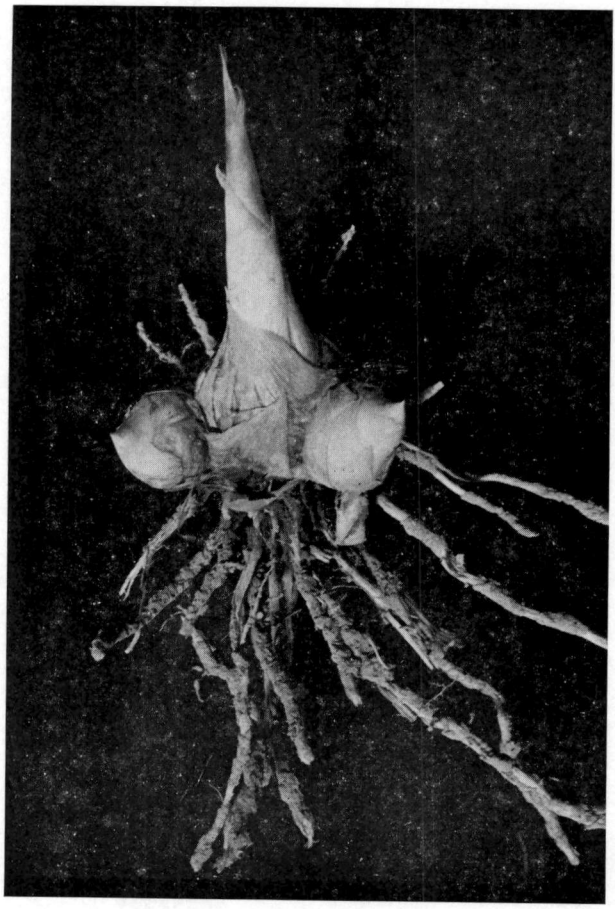


FIG. 4. — *Jeune tige et ses deux premiers bourgeons qui formeront chacun un nouveau rhizome*

— mais quels que soient le clone, le milieu ou la saison, ce rhizome est toujours composé d'un nombre constant d'entre-nœuds : 11 en moyenne ;

— à partir de ce 11e article, la tige s'infléchit pour sortir du sol (fig. 5) ;

— d'autre part, à partir aussi de ce 11e article, tous les entre-nœuds portent un bourgeon axillaire ;

— seuls les deux premiers de ces bourgeons, soit ceux correspondant aux 11e et 12e entre-nœuds de la tige souterraine, donnent naissance normalement et ultérieurement, à un nouveau rhizome, puis à une tige. Tous les méristèmes situés sur la partie aérienne peuvent croître si les conditions sont favorables et former alors des ramifications. Toutefois, s'ils sont enterrés, ils sont capables de donner un rhizome qui sera à l'origine d'une nouvelle souche ;

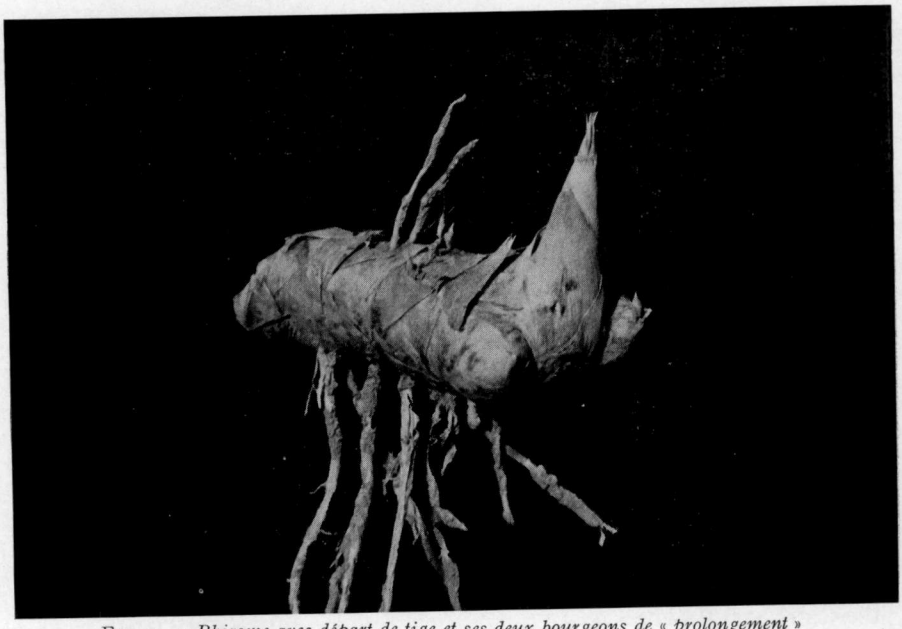


FIG. 5. — *Rhizome avec départ de tige et ses deux bourgeons de « prolongement »*

— la différenciation d'un bourgeon sur la partie du rhizome comprise avant le 11e entre-nœud n'a jamais été observée ;

— le plus souvent, seul l'un des deux premiers méristèmes s'allonge, l'autre restant, pendant parfois plusieurs années, à l'état dormant : la canne qu'il fournit ensuite est toujours chétive. Le nombre de rhizomes et de cannes n'est ainsi jamais égal au nombre de bourgeons « de prolongement » formés. Aucune loi ne paraît pour l'instant gouverner ce phénomène ; une certaine alternance semble toutefois exister entre la croissance simultanée des deux primordia et la croissance d'un seul ;

— progressivement, la souche prend ainsi une forme en éventail illustrée par la figure 6. Elle comprend alors :

• la partie originale qui vieillit progressivement au fil des années, se lignifie et devient improductive : seuls en effet certains bourgeons « de prolongement » latents ou quelques bourgeons axillaires enterrés s'allongent parfois, mais pour donner un rhizome le plus souvent chétif et qui ne sera qu'exceptionnellement un nouveau point vigoureux de prolifération ;

• une partie périphérique, jeune, active, constituant le front de colonisation, où se différencient en permanence de nouveaux bourgeons ; elle croît rapidement

dans le sol (30 à 40 cm environ par an) et cette élongation se fait essentiellement vers le sud, accentuant ainsi la forme en éventail. Il s'agit de la zone productive de la souche, exigeant le plus de soins.

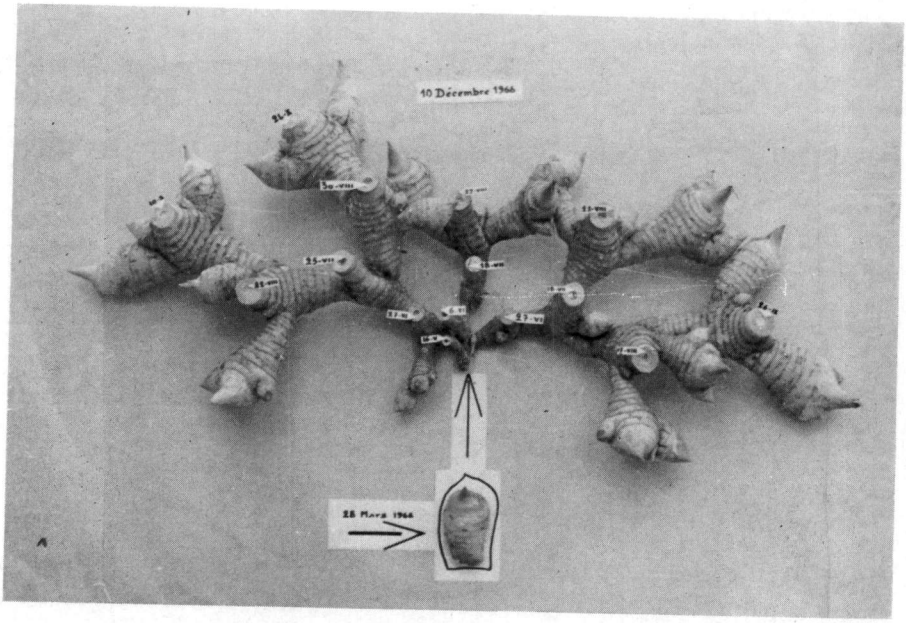


FIG. 6. — *Appareil souterrain âgé de 8 mois*
(en médaillon le rhizome de départ)

C'est au cours des mois de septembre et d'octobre que se situe l'activité la plus importante des bourgeons différenciés à la base des tiges du cycle précédent. Deux cas principaux peuvent se présenter :

— l'élongation de ces bourgeons est précoce et les jeunes tiges sortent du sol avant l'hiver (de septembre à décembre). Elles sont alors toutes détruites par le gel. Mais, pour chaque tige détruite, les deux méristèmes de « prolongement » (ou un seul) entrent en croissance pour donner naissance à leur tour à une nouvelle tige. Celle-ci, ou bien sort du sol trop tôt, est également tuée par le froid, mais est remplacée selon le même processus, ou bien ne sort qu'au printemps et donne alors une canne normale ;

— l'élongation de ces bourgeons est tardive ; ils fournissent ainsi les rejets de printemps, apparus en mars et avril, après les gelées hivernales.

Les cannes d'été proviennent toutes de bourgeons formés à la base de tiges de printemps. On observe toutefois, dans certains cas, la présence d'une tige intermédiaire sortie entre avril et juin. Mais alors la dernière tige apparue, en général trop tardive, a une croissance réduite et n'est pas toujours exploitable.

Ainsi, pour l'appareil souterrain, dans le sud de la France, le mois d'août semble pouvoir être considéré comme le terme et le début d'un cycle. Tous les bourgeons initiés à cette époque représentent en effet le potentiel de production de rejets de

l'année ultérieure selon la « filiation » théorique suivante : chaque méristème de la base d'une canne ayant terminé sa croissance entre en activité pour donner une tige de printemps qui est ensuite à l'origine d'une tige d'été. Le même « rameau » d'une souche pourrait donc fournir deux à quatre cannes au cours d'un cycle annuel. Mais de nombreux facteurs interviennent pour perturber ce phénomène et provoquer une perte considérable de méristèmes.

DONNÉES AGRONOMIQUES

L'aire de culture possible de la Canne de Provence correspond sans doute, tout au moins pour les écotypes méditerranéens, à l'aire actuelle des peuplements spontanés. C'est donc dans une zone allant des Pyrénées orientales à l'Italie, le long de la Méditerranée, sur une profondeur de 100 à 200 kilomètres environ que devraient se situer les régions de culture normale des types locaux d'*Arundo donax*. Il est cependant possible d'envisager également l'extension de cette production dans les départements bordant le nord des Pyrénées, ainsi que, plus à l'ouest, le rivage de l'Atlantique.

La préparation du sol est classique : défoncement à la fin de l'été pour favoriser la croissance du système racinaire ; sous-solage éventuel pour régulariser l'économie de l'eau ; labour simple ou croisé avant l'hiver avec enfouissement de la fumure phospho-potassique ; travaux classiques de finition utilisant herse et disques, après apport de la fumure azotée ; ouverture de sillons enfin pour la mise en place des rhizomes ou des boutures de tiges.

La fertilisation pose encore un problème. L'absence de toutes données antérieures a imposé une expérimentation. Celle-ci a mis à l'épreuve, au cours de nombreux essais réalisés et observés pendant plusieurs années dans plusieurs types de sols du sud de la France, différentes formules d'éléments fertilisants en faisant varier aussi bien les doses que les modalités de leur application.

Or la plante n'a jamais réagi à des apports même élevés des trois principaux éléments, azote, potasse, acide phosphorique, comme l'illustre par exemple le tableau 4 qui rapporte les résultats de trois essais réalisés à Montpellier (Domaine de Lavalette), pendant six années consécutives.

Des études plus fondamentales concernant la physiologie de la nutrition de la Canne de Provence viennent donc d'être entreprises. En attendant leurs résultats la fertilisation annuelle est basée sur les quantités d'éléments exportés par les parties aériennes soit, pour 10 tonnes de matière sèche produite :

— 100 unités environ d'azote ;
— 130 unités environ de potasse ;
— quelques unités seulement d'acide phosphorique que l'on ne retrouve qu'à l'état de traces dans les tiges.

En conséquence, l'apport annuel moyen, en février-mars, après la récolte, calculé sur la base d'un rendement de 20 tonnes de matière sèche par an et destiné à maintenir le niveau de fertilité du sol, est actuellement le suivant : 200 à 300 unités d'azote ; 250 à 300 unités de potasse et 150 unités environ d'acide phosphorique.

TABLEAU 4

Influence de différentes doses d'azote, d'acide phosphorique et de potasse sur le rendement en matière sèche de la Canne de Provence

	Unités/ha/an	Rdt moyen annuel en matière sèche (kg/ha) (1)	P. 100
Azote	200 (3 ans) et 0 (3 ans)	17 330	100
	400 (2)	18 240	105
	600 (2)	17 775	103
	800 (2)	18 860	109
Acide phosphorique	0	20 400	100
	125	20 890	102
	250	20 400	100
	500	20 020	98
Potasse	0	18 655	100
	125	18 760	100,5
	250	18 230	97,7
	500	18 570	99,6

(1) Au terme de six années de culture.
(2) Ces quantités d'azote ont été fractionnées en quatre apports de 100, 150 et 200 unités données tous les mois, de fin mars à fin juin.

L'installation de cultures de même d'ailleurs que la reproduction d'*Arundo donax*, du fait de l'absence de graines, ne peut se faire que par voie végétative, en utilisant soit des éclats de souche ou rhizomes, soit des boutures de tiges.

Les rhizomes, prélevés sur une souche après extirpation de celle-ci, sont plantés de janvier à mars.

La mise au point d'une technique d'implantation de boutures ou plutôt de tiges entières a demandé une longue étude. Les meilleurs résultats sont obtenus en utilisant des cannes de deux ans, récoltées en décembre et aussitôt enfouies. La plantation se fait ainsi avant les froids de l'hiver, car ceux-ci risquent de détruire les méristèmes axillaires à partir desquels se différencient, lorsqu'ils sont enterrés, les nouvelles souches (fig. 7).

Rhizomes ou tiges sont déposés au fond d'un sillon, profond de 10 à 15 centimètres, qui est ensuite refermé et roulé afin d'assurer un tassement particulièrement indispensable pour les tiges.

Un problème important concerne la distance à adopter entre deux sillons car ce choix aura des conséquences sur toute la durée d'une plantation. Celle-ci doit être conçue en lignes parallèles équidistantes, orientées est-ouest de préférence, et de façon telle que les jeunes rhizomes trouvent toujours devant eux une terre libre et bien préparée.

Une expérimentation en cours met en comparaison depuis huit ans cinq largeurs d'interligne, allant de un à trois mètres.

Ann. Amélior. Plantes, 1974, **24** (1), 83-91.

ERRATUM

LA MULTIPLICATION VÉGÉTATIVE CHEZ LA LUZERNE

Marie-Thérèse CHESNEAUX

G. E. V. E. S.,
Groupe des Laboratoires et Services de La Minière,
Guyancourt, 78000 Versailles

Page 87 : dans la légende de la figure 1, 2e et 3e lignes, il faut lire :

à gauche : boutures provenant de la base des tiges
à droite : boutures provenant du sommet des tiges

FIG. 7. — *Différenciation de souches à partir des méristèmes axillaires de tiges enterrées*

Le tableau 5 permet tout d'abord de constater que la surface colonisée au fil des années par les souches varie de façon importante, en fonction des interlignes.

TABLEAU 5

Influence de l'interligne sur la colonisation du sol par les souches

Années	Interlignes									
	1 mètre		1,5 mètre		2 mètres		2,5 mètres		3 mètres	
	largeur (1)	p. 100 (2)	largeur	p. 100	largeur	p. 100	largeur	p. 100	largeur	p. 100
1965	Plantation									
1966	49	49	57	38	62	30	62	25	65	22
1967	55	55	70	46	77	39	72	29	74	25
1968	74	74	80	54	98	49	100	42	112	37
1969	86	86	98	65	99	49,5	123,5	49	125	42
1970	100	100	150	100	127	63,5	125,2	50	134,6	45
1971	100	100	150	100	131	65,5	163	65	172	57
1972	100	100	150	100	156	78,6	156	62	184	61

(1) Largeur moyenne (en cm) colonisée par chaque ligne implantée.
(2) Pourcentage colonisé de la surface totale de la parcelle.

Le tableau 6 indique les peuplements annuels observés pour chaque interligne.

TABLEAU 6

Influence de l'interligne sur le peuplement annuel

(Plantation en 1965) Interlignes	Année	Nombre de cannes au		
		m²	m² colonisé	mètre linéaire
1 m	1966	13	26	13
	1967	19	36	19
	1968	23	32	23
	1969	23	26	23
	1970	23	23	23
	1971	21	21	21
	1972	24	24	24
	Total	146	188	146
1,5 m	1966	14	34	20
	1967	19	41	28
	1968	24	44	34
	1969	21	42	32
	1970	22	22	33
	1971	24	24	39
	1972	26	26	36
	Total	150	233	222
2 m	1966	9	31	19
	1967	17	45	35
	1968	23	46	45
	1969	22	39	43
	1970	22	34	43
	1971	21	32	42
	1972	24	31	48
	Total	138	258	275
2,5 m	1966	10	37	23
	1967	18	63	41
	1968	22	54	50
	1969	20	39	49
	1970	21	41	52
	1971	23	36	58
	1972	23	37	57
	Total	137	307	330
3 m	1966	8	37	30
	1967	15	60	48
	1968	22	59	36
	1969	21	53	62
	1970	20	45	61
	1971	17	29	50
	1972	24	41	70
	Total	127	324	357

Il apparaît ainsi que :

— le nombre de tiges à l'unité de surface n'est pas proportionnel à la dimension de l'interligne de départ et que, finalement, après huit années, le total des cannes récoltées est peu différent d'un interligne à l'autre ;

— le peuplement au mètre carré effectivement colonisé croît avec la largeur de l'interligne ;

— le nombre de cannes au mètre de ligne est bien plus élevé dans le cas de grands intervalles, ce qui est la conséquence d'une largeur de bande supérieure.

Trois rhizomes en moyenne ayant été plantés par mètre linéaire, quel que soit l'intervalle, la production de chacun d'eux, après huit ans, est d'autant plus élevée que l'interligne est plus grand : 48, 74 et 125 cannes pour des espacements respectifs de 1, 2 et 3 mètres.

Il y a donc opposition entre la quantité de tiges fournies par une souche et le peuplement ou l'interligne, ce qui explique d'ailleurs que la densité à l'unité de surface soit finalement peu différente et ce qui peut mettre en doute l'intérêt d'une plantation en rangs serrés, lorsque celle-ci est exploitée pendant de nombreuses années.

Le tableau 7 rapporte les poids secs moyens en grammes d'une canne, observés pour chaque interligne, lors de chacune des sept récoltes.

TABLEAU 7

Influence de l'interligne sur le poids sec moyen (en g) *d'une tige au cours de sept années successives de culture*

Interlignes	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	Moyennes
1 m	175	142	110	116	110	123	100	125
1,5 m	179	149	117	128	118	111	81	126
2 m	180	141	111	133	101	108	81	122
2,5 m	162	155	134	138	121	108	109	132
3 m	179	158	130	131	118	130	87	132

Ce poids décroît avec l'âge de la plantation et l'accroissement du peuplement ; mais il est toujours plus élevé dans le cas de grands interlignes pour lesquels d'ailleurs la diminution annuelle est moindre.

Le production de matière sèche, à l'unité de surface, par mètre carré colonisé, par mètre linéaire et par rhizome planté est exprimée par le tableau 8. Les chiffres fournis par ce tableau permettent de comprendre pourquoi les rendements/hectare, après huit années d'exploitation, tels qu'ils sont rapportés par le tableau 9, ne sont pas en rapport avec les interlignes de départ, puisque la production des rangs espacés de 3 mètres n'est inférieure à celle des rangs espacés de 1 mètre que de 13 p. 100 environ.

Ce constat est important car il a des incidences non seulement sur le maintien et le devenir d'une plantation, mais aussi sur son économie. Un jugement définitif sur le choix d'un interligne ne pourra être porté qu'au terme des dix années prévues

d'exploitation et en fonction d'autres expérimentations en cours. En attendant, l'implantation de champs industriels est conçue à partir d'un interligne de deux mètres. Dans ces conditions, 15 000 rhizomes environ ou 6 000 à 8 000 tiges sont nécessaires pour planter un hectare.

TABLEAU 8

Influence de l'interligne sur la production de matière sèche

Matière sèche (en g) produite	Interlignes				
	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m	3 m
au mètre carré	18 250	18 900	16 236	18 084	16 764
au m² colonisé.....	23 500	29 358	31 476	40 524	42 768
au mètre linéaire ..	18 250	27 972	33 550	43 500	49 765
par rhizome planté (total de 7 récoltes)	6 083	9 324	11 183	14 520	16 588
p. 100	100	153	184	239	273

Un désherbage chimique s'impose en vue d'assurer un bon état de propreté des cultures au cours des deux premières années suivant leur installation ; les cannes en place étouffent ensuite toute végétation adventice, et ce n'est que dans le cas de champs particulièrement enherbés que le renouvellement d'un traitement devra être envisagé.

Les études réalisées conduisent à préconiser les applications suivantes, exprimées en quantité de produit commercial à l'hectare : 3 à 5 kg de simazine ; ou 1,5 à 4 kg de simazine + 1,5 à 4 kg d'atrazine ; ou 1,5 à 4 kg d'atrazine + 2 à 5 kg de propachlore, dans le cas de tiges plantées en automne. Si ces interventions s'avèrent insuffisantes, ou ne peuvent être réalisées, une application au printemps, en préémergence des cannes mais en postémergence des adventices, de 2 à 6 l de paraquat + 1,5 à 4 kg d'atrazine donne de bons résultats.

Dans le cas d'une plantation par rhizomes un traitement avec 3 à 5 kg de simazine ou 1,5 à 4 kg de simazine + 1,5 à 4 kg d'atrazine s'avère très efficace.

Enfin, certaines espèces particulièrement résistantes, tel que le chiendent, sont bien contrôlées par une pulvérisation d'aminotriazole, au moment opportun, à la dose de 20 litres/ha.

Les travaux annuels d'entretien, à partir de la deuxième ou de la troisième année sont ensuite limités aux apports de la fertilisation minérale en février-mars, suivis d'une façon superficielle puis d'irrigations, dont la fréquence et le volume dépendront des conditions pédoclimatiques de chaque champ.

L'époque et le mode de récolte seront traités dans le chapitre suivant car ils sont indissociables de la filière des opérations qui leur font suite.

Le rendement en matière sèche, faible au terme de la première année (3 à 5 tonnes en moyenne) ne justifie pas une coupe des tiges. Il croît ensuite avec la colonisation du sol par les souches comme l'exprime pour différents interlignes, le tableau 9.

TABLEAU 9

Rendements en matière sèche (kg/ha) *enregistrés, en fonction de l'interligne, au cours de sept années d'exploitation*

	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m	3 m
1965	6 550	5 555	4 900	3 110	4 080
1966	22 805	24 135	19 910	16 410	14 760
1967	27 830	23 450	24 520	27 950	22 815
1968	25 970	28 100	25 100	29 430	28 495
1969	26 970	27 380	26 185	27 100	26 000
1970	25 145	24 950	23 640	26 320	24 460
1971	26 930	29 445	25 690	27 050	24 570
1972	24 160	22 470	21 410	26 010	21 890
Total	186 360	185 485	171 355	183 380	167 070
Moyenne	23 297	23 185	21 419	22 922	20 883
p. 100	108,8	108,2	100	107	97,5

Sur dix ans d'exploitation, pour un espacement de deux mètres entre les rangs et dans des terres normalement fertiles et fraîches, on peut finalement escompter, pour un clone local, une production moyenne annuelle de 20 tonnes/ha de matière sèche, comprenant environ 15 p. 100 de feuilles et gaines.

Par ailleurs, la prospection de peuplements spontanés français et étrangers a permis de réunir une collection importante de clones dont certains révèlent des niveaux de productivité, après cinq ans d'exploitation, supérieurs de 15 à 30 p. 100 à celui des types indigènes.

DONNÉES TECHNOLOGIQUES

La Canne de Provence ne peut être récoltée qu'une fois dans l'année, tandis que l'usine transformatrice doit recevoir, chaque jour, une quantité identique d'une matière aux caractéristiques constantes.

Aussi prennent place, entre champ et usine, différentes opérations de nature variée : récolte, sortie du champ du matériau, transport vers l'usine, conditionnement, manutention, stockage. Cette filière de travaux n'ayant jamais été étudiée, il a fallu mettre au point une technologie originale convenant à chaque étape, en tenant compte, chaque fois, des incidences techniques et économiques, en amont comme en aval, d'une technologie donnée car chacune de ces opérations s'avère extrêmement dépendante des autres.

Les recherches conduites dans ce domaine par la Station d'Amélioration des Plantes de Montpellier ont exigé la collaboration de divers organismes spécialisés : C. N. E. E. M. A., B. C. M. E. A., constructeurs privés de matériel de récolte,

manutention, conditionnement, ainsi que de différentes structures professionnelles et interprofessionnelles, sans oublier les ateliers expérimentaux papetiers analysant chaque fois les qualités du matériau obtenu.

Des mémoires ultérieurs, plus spécialisés, rapporteront les résultats de ces différentes études. L'accent sera mis, dans ce rapport, sur deux opérations « charnière » dont les conséquences sur l'ensemble des travaux sont les plus notables : la récolte et le conditionnement du matériau récolté.

1. — *La récolte*

La récolte peut commencer à partir de l'arrivée des premiers froids, au moment où la plante entre dans sa phase de repos, c'est-à-dire, dans le sud de la France, vers le 15 décembre et peut être poursuivie jusqu'au 15 mars environ.

En dehors de sa durée, cette période hivernale est avantageuse du point de vue du calendrier agricole des exploitations ; mais les conditions climatiques ne laissent qu'une espérance de 50 jours environ de travail effectif, avec des durées quotidiennes d'activité courtes.

Les tiges, hautes de trois à six mètres, doivent être coupées aussi près que possible du sol (20 p. 100 du rendement sont en effet compris dans les 10 p. 100 inférieurs de la tige) ; elles devraient aussi être transformées en un produit aux caractéristiques adaptées à la chaîne de traitement industriel, c'est-à-dire déchiquetées en « copeaux » de quatre à six centimètres de longueur et très réguliers dans leurs dimensions.

Les feuilles, du fait de leur haute teneur en silice (5 à 6 p. 100), doivent être éliminées ; elles représentent, lors de la coupe, 15 à 35 p. 100 du poids sec sur pied.

D'autre part, au moment de la récolte, la teneur en eau des tiges est en moyenne de 50 p. 100. Il s'est avéré impossible dans ces conditions de conserver longtemps, sans perte de matière sèche ni dégradation de la qualité papetière, la matière première récoltée. Une microflore cellulolytique se développe et l'attaque est d'autant plus rapide que la tige est plus déchiquetée. Dans le cas de « copeaux » verts par exemple, les premières fermentations commencent 24 heures après la coupe.

Ce phénomène impose une évacuation immédiate du matériau vers une usine, soit pour sa transformation en pâte à papier, soit pour subir aussitôt un traitement en vue d'assurer sa conservation. Mais se posent alors des problèmes importants de transport qui, concentrés pendant la courte période de récolte (50 jours), exigent des matériels d'autant plus nombreux que la Canne de Provence est peu dense ; le rendement moyen annuel espéré de 20 tonnes de matière sèche, correspond à environ 40 tonnes de produit frais qui, sous forme de copeaux, représentent 150 m^3/ha (densité du copeau vert : 270 kg/m^3, du copeau anhydre 200 k/m^3). Ce foisonnement est d'ailleurs tel que tous les calculs concernant cette filière de travaux doivent tenir compte des volumes et non des tonnages.

Après de nombreux essais, deux principes de récolte, très différents, ont été retenus et sont actuellement comparés.

Le premier met en œuvre des machines faucheuses-hâcheuses, normalement utilisées pour les fourrages, qui coupent les cannes et les fragmentent en morceaux de longueur contrôlée (4 à 6 cm). Ce sont les « copeaux ».

Le fonctionnement de ces matériels est satisfaisant. Seul le « bec cueilleur » utilisé, du type maïs (fig. 8), se révèle mal adapté à la fauche des tiges car la coupe

est trop haute et de nombreux rhizomes sont arrachés. La mise au point d'un « bec cueilleur » convenant à la Canne de Provence, actuellement réalisée par le C. N. E. E. M. A. (Échelon de Nîmes) doit permettre de résoudre rapidement ce problème.

Les modèles automoteurs se sont révélés capables de récolter 3 à 4 hectares par jour. Ils doivent être suivis d'attelages (tracteur + remorque) dont le nombre moyen (4 à 5) peut varier quelque peu en fonction du volume des remorques, de la distance à parcourir jusqu'au lieu de vidage et de la vitesse de circulation.

FIG. 8. — *Faucheuse-ensileuse automotrice*

Ce principe de récolte est intéressant par le produit qu'il délivre, puisque la première étape du processus industriel est franchie, et par l'existence d'une large gamme de matériels, susceptibles en outre d'être éventuellement utilisés pendant deux campagnes de récolte : fourrages en été, Canne de Provence en hiver. Mais le copeau produit ne se conserve pas et exige un traitement immédiat. Compte tenu de la courte période de coupe ce processus implique un suréquipement onéreux au niveau des transports et des matériels de conditionnement.

Le second principe en cours d'épreuve utilise des machines normalement employées pour la canne à sucre (fig 9). Ces machines, dont plusieurs modèles ont pu être étudiés dans le sud de la France, se distinguent essentiellement, en dehors bien entendu d'une technologie très différente, par le fait qu'elles délivrent non plus des copeaux, mais des tronçons cylindriques d'une longueur contrôlable pouvant atteindre 35 centimètres.

Par rapport aux copeaux, ces tronçons présentent un double inconvénient : ils sont moins denses (110 kg au m^3 soit 400 m^3 environ pour 1 ha), ce qui accroît le problème des transports ; ils doivent en outre être déchiquetés avant leur trans-

formation papetière, ce qui implique une opération supplémentaire. Mais ils offrent l'avantage important de pouvoir être conservés quelques mois sans dégradation.

Cliché CNABRL

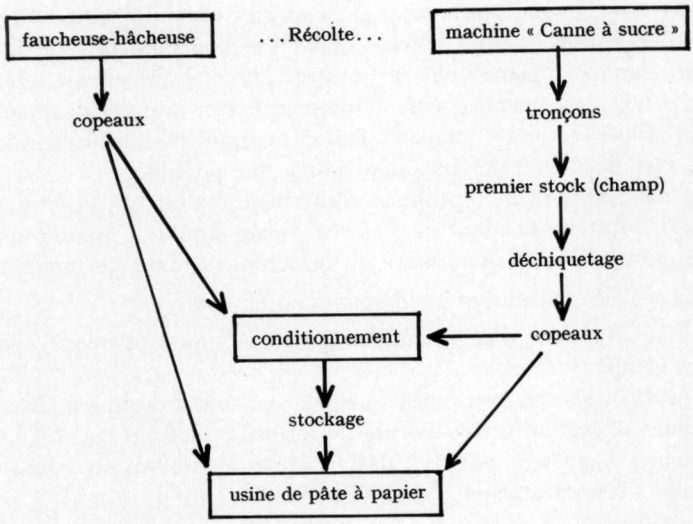
FIG. 9. — *Machine de récolte du type « canne à sucre »*

Aussi l'évacuation immédiate de la récolte ne s'impose plus : celle-ci peut être stockée en bord de champ, avant d'être déchiquetée sur place pour réduire le volume des transports. La durée des travaux étant ainsi sensiblement allongée, un tonnage plus élevé de copeaux peut être transformé directement ; ceci réduit les quantités à conditionner et comme la période de conditionnement est aussi plus longue, les investissements sont finalement moindres et les amortissements sont meilleurs.

Les machines de type canne à sucre ont des performances supérieures à celles des faucheuses-hâcheuses puisqu'elles peuvent récolter de 6 à 8 hectares par jour. Leur équipement permet en outre d'éliminer une grande partie des feuilles.

Mais, compte tenu de leur rendement et du foisonnement des tronçons, un nombre plus élevé d'attelages remorque-tracteur doit être prévu ; enfin, du fait de leur spécificité, ces matériels ne peuvent pour l'instant être employés, en France, que pour la Canne de Provence.

Finalement, si des mises au point s'imposent encore, la mécanisation de la récolte peut être considérée comme résolue au niveau des principes. Un choix est même possible entre deux types de matériel impliquant deux séquences de travaux différentes ; les études technologiques et économiques en cours tiennent compte en outre de la possibilité très prometteuse de mise en œuvre simultanée de ces deux modes de récolte, selon le schéma suivant, dont les différentes opérations pourraient alors s'étaler sur environ six mois :



2. — *Conditionnement*

Lorsqu'elles sont coupées, puis normalement mises en bottes et conservées à l'air libre, les cannes de Provence perdent progressivement de leur humidité. Leur teneur moyenne en eau, de l'ordre de 50 p. 100 au moment de la coupe, n'est plus que de 40 p. 100 après deux mois de stockage, de 30 p. 100 après trois mois, pour se stabiliser après cinq mois environ à 15 p. 100. Dans ces conditions, après un an de conservation, ces cannes perdent 10 à 15 p. 100 de leur matière sèche. Les pertes les plus importantes sont observées au cours des trois premiers mois, tant que la teneur en eau est supérieure à 20 p. 100 ; elles diminuent ensuite fortement pour devenir très faibles, de l'ordre de 0,2 à 0,5 p. 100 par mois.

Lorsqu'au terme d'une récolte par faucheuse-hâcheuse, les copeaux de cannes sont conservés en tas, le processus est différent. Pour une même teneur en eau au départ, la dessication est plus lente mais surtout un développement de micro-organismes est constaté, accompagné d'un échauffement important et de pertes de matière sèche rapides et élevées : 5 p. 100 après un mois, 15 p. 100 après deux mois, plus de 20 p. 100 après trois mois. A ces pertes s'ajoute une diminution sensible des propriétés papetières du matériau.

Dans le cas de tronçons de tiges délivrés par les machines du type canne à sucre, et en se plaçant toujours dans des conditions de conservation de type industriel, c'est-à-dire au niveau de grands volumes, les données sont encore différentes. La dessication naturelle est très lente et les pertes de matière sèche sont très faibles et négligeables au cours des trois premiers mois ; mais, brusquement, au cours du quatrième mois de conservation, on observe le développement d'une microflore importante : pendant cette période les pertes de matière sèche sont très élevées et atteignent 20 p. 100 du poids sec de départ.

La récolte et le stockage de cannes entières ne pouvant être envisagés, la conservation pendant trois mois des tronçons étant satisfaisante (des études en cours analysent les possibilités d'allonger cette période), les recherches ont été essentiel-

lement orientées sur le conditionnement des copeaux verts. Ce traitement est incontestablement l'opération la plus délicate et la plus contraignante de la filière des travaux entre champ et usine ; elle ne souffre tout d'abord aucun retard dans sa réalisation, elle doit être parfaitement fiable pour éviter la perte de quantités considérables de matière première, elle doit éviter l'emploi de substances toxiques ou polluantes et être de plus d'un coût aussi faible que possible.

Les travaux consacrés à ce problème ont eu un double objectif : inhiber d'une part toute fermentation pendant une durée même limitée ; assurer d'autre part une stabilité quantitative et qualitative du matériau pendant au moins un an.

Les essais réalisés ont éprouvé différents traitements :

— chimiques à partir d'acides organiques : acétique, formique, propionique, ou de liqueurs alcalines ;

— biologiques, tels que ceux utilisés sur la bagasse de canne à sucre et consistant à imprégner le végétal d'une culture de ferments lactiques ;

— physiques : séchage par ventilation lente, conservation sous vide et en milieu anaérobie, déshydratation.

Tous ces essais ont été suivis pendant des périodes de 3 à 12 mois et ont été assortis d'analyses des qualités papetières de la matière première provenant de chacun des traitements éprouvés.

La déshydratation des copeaux verts, dès après la récolte, dans des séchoirs normalement utilisés pour les fourrages en vue de leur granulation, fournit les résultats les plus sûrs et les plus constants. L'élimination rapide de l'eau renfermée par le végétal pour amener celui-ci à une teneur de l'ordre de 15 p. 100 s'avère en effet la technique la plus fiable, la plus industrielle et la plus satisfaisante puisque les pertes en matière sèche, au bout d'un an, sont de l'ordre de 4 à 5 p. 100. Elle exige certes des investissements onéreux et son coût, au niveau du fonctionnement n'est pas négligeable ; mais les installations prévues, d'une capacité horaire d'évaporation de 30 tonnes d'eau, permettent d'envisager la réalisation de ce traitement dans des perspectives économiques acceptables, d'autant plus que les tests industriels ont constaté une légère amélioration de certaines qualités papetières du matériau déshydraté.

Tous les autres traitements éprouvés se sont révélés sans intérêt du fait de leur inefficacité, de leur fiabilité insuffisante ou de leur coût trop élevé (cas par exemple de la conservation sous vide dont les résultats sont excellents).

L'acide propionique toutefois, à la dose de 2 p. 100 permet d'inhiber toute fermentation pendant six semaines environ et de limiter ainsi les pertes de matière sèche. Mais, le produit est onéreux, tandis que son application homogène et sa manipulation sont délicates.

Aussi, actuellement, pour les copeaux verts provenant des faucheuses-hâcheuses, la déshydratation paraît la seule voie industrielle à retenir.

DONNÉES ÉCONOMIQUES

Une première étude réalisée sous la responsabilité méthodologique du laboratoire d'Économie rurale I. N. R. A. de Grignon (Tirel, Attonaty, 1972) s'est proposé d'établir des ordres de grandeur sur :

— les coûts d'implantation de la Canne de Provence ;
— le prix seuil à partir duquel il serait profitable pour les producteurs de l'introduire dans leurs assolements à la place d'autres cultures ;
— les coûts de récolte et d'approche jusqu'à l'usine la plus proche ;
— les coûts des matières premières actuelles susceptibles d'être remplacées par la Canne de Provence ;
— les coûts induits au niveau de la fabrication par ce remplacement.

L'analyse est basée, au niveau agricole, sur la notion de prix seuil ou de substitution, c'est-à-dire le prix minimum au-dessous duquel l'introduction de la culture nouvelle se solde par une diminution du revenu global d'un système de production préexistant.

L'utilisation du programme de budget automatisé, mis au point par le laboratoire de Grignon, a permis tout d'abord de caractériser plusieurs systèmes (complexes assolement-appareil de production) représentatifs de deux régions méridionales (Crau et Camargue) et d'apprécier leurs résultats selon différents types d'années. Puis le remplacement de certaines cultures actuelles par de la Canne de Provence, dans chacun de ces systèmes, a été supposé grâce à l'établissement de modèles prévisionnels dont le nombre dépend de la nature des espèces substituées et de l'ampleur de la substitution. Il a été tenu compte, en outre, pour la canne, de deux séries possibles de techniques culturales : production normale, irriguée dans un cas ; plus extensive, sans irrigation, avec de moindres charges annuelles dans l'autre cas.

Les résultats obtenus, pour chaque système, chaque type d'année, en fonction de chacune des différentes cultures substituées et selon l'importance de la substitution, ne peuvent être résumés par un seul chiffre représentatif, qu'il faudrait d'ailleurs réactualiser en permanence. Le calcul des prix seuils conduit en effet à d'assez grandes disparités suivant l'assolement pris en référence mais surtout selon les productions qui sont remplacées. Ces prix seuils d'autre part peuvent déjà être attractifs pour certains producteurs ; pour d'autres au contraire, ils peuvent n'être que suffisants, ou inacceptables, pour justifier sur le plan comptable une substitution partielle de cultures déjà pratiquées.

Seules des études individualisées au niveau de l'exploitation, en tirant parti des résultats actuels, permettront de déterminer dans chaque cas le système de production le mieux adapté.

La séquence de travaux entre champ et usine a fait d'autre part l'objet de différentes approches économiques. La pluralité des solutions possibles, l'existence de plusieurs filières éventuelles au sujet desquelles aucun choix n'a encore été fait rend l'étude difficile. Ici encore de très nombreuses données ont été recueillies : un organisme spécialisé dans le traitement de l'information les utilise actuellement pour définir les chemins les plus intéressants et leur coût, pour sélectionner le meilleur et calculer les investissements nécessaires.

Au niveau de la transformation enfin, une tentative a été faite pour déterminer un prix de substitution, c'est-à-dire un prix d'achat de la Canne de Provence permettant d'assurer à l'industrie des pâtes à papier un résultat identique à celui procuré par l'utilisation du bois.

En tenant compte d'investissements et de capacités de production identiques dans les deux cas ; en considérant, pour le bois, tous les travaux précédant la transformation : approche, écorçage, mise en copeaux, stockage ; en appréciant toutes

les contraintes propres à la canne, on aboutit également au constat qu'il n'existe pas un prix unique de substitution pour l'industrie, mais une plage de prix résultant à la fois du procédé envisagé pour le traitement de la canne, de l'existence ou non d'une intégration à l'aval, c'est-à-dire d'une usine de papiers, etc.

Ces études économiques, très complexes et d'approche délicate, ont cependant permis, tout aussi incomplètes qu'elles soient, de situer les niveaux respectifs d'intérêt des parties en présence : agriculture et industrie. La plupart des incertitudes actuelles ne pourront d'ailleurs être levées qu'après avoir changé d'échelle et engagé une opération en vraie grandeur permettant de mieux préciser l'ensemble des données acquises.

CONCLUSIONS

ÉTAT ACTUEL DU PROBLÈME

Les études réalisées jusqu'à présent ont été fortement influencées par des soucis d'ordre opérationnel ; elles ont eu pour objectif principal de définir l'intérêt agronomique, industriel, économique de la Canne de Provence tout en essayant d'acquérir une certaine maîtrise de la production et de la transformation de cette espèce sauvage quasi inconnue.

Les résultats acquis paraissent suffisants pour concevoir une première implantation « pilote » de cultures ; ils comportent cependant encore trop d'incertitudes pour conclure, avec toute la sécurité souhaitable, que la Canne de Provence est désormais une nouvelle matière première pour l'industrie française des pâtes à papier. Mais ils sont considérés comme suffisamment prometteurs et la conjoncture actuelle comme suffisamment favorable pour que les études soient poursuivies.

Toutefois, pour aller plus loin et pour progresser encore, il faut envisager une double modification de l'échelle des travaux. Certains problèmes en effet demandent maintenant à être appréhendés en vraie grandeur, au niveau de superficies à caractère industriel. D'autres, au contraire, volontairement négligés ou bien inconnus au départ, exigent aujourd'hui, pour leur solution, un retour à des activités plus fondamentales. Ces deux grandes séries de recherches viennent d'être entreprises.

Une action de développement a débuté en effet en 1969 ; producteurs et transformateurs éventuels ont ainsi engagé le dialogue et créé pour cela des structures professionnelles et interprofessionnelles. Celles-ci ont rendu possible l'étude de l'installation d'une première production « pilote » portant sur 2 000 ha environ, considérée à la fois comme une dernière expérimentation et, en cas de succès, comme un premier palier vers l'objectif définitif prévu, soit 20 000 hectares.

Cette production pilote aura un rôle décisif puisqu'elle permettra de vérifier les espérances de rendement en matière sèche, de choisir et de mettre au point la technologie de la filière récolte-transport-conditionnement-conservation, de préciser le coût de chacune de ces opérations ainsi que l'organisation juridico-économique de cette séquence, de déterminer les prix seuils à la production, de terminer les études de transformation, de définir les relations contractuelles entre les deux partenaires et de porter finalement un jugement définitif sur l'intérêt agro-industriel de la Canne de Provence.

Parallèlement à cette vaste expérimentation, des actions à caractère plus fondamental sont en cours. Elles ont un double objectif :

— accroître les performances du matériel végétal actuellement disponible grâce à l'acquisition de connaissances plus approfondies de la biologie de l'espèce et de l'exploitation du milieu par la plante ;

— améliorer le matériel végétal lui-même par la sélection de clones et la création de variétés nouvelles à haute productivité.

Dans le premier cas, l'amélioration du rendement en matière sèche est recherchée dans le perfectionnement des techniques culturales et dans une maîtrise accrue de l'exploitation d'*Arundo donax*.

Cette voie implique une meilleure connaissance fondamentale des phénomènes de croissance et de développement aussi bien des parties aériennes que souterraines de la plante, en tenant compte du caractère vivace de celle-ci et de ses aptitudes à tirer parti du milieu dans lequel elle végète.

Les données acquises, les caractéristiques des milieux envisagés de production conduisent à la conception de recherches concernant : la physiologie de la nutrition, l'alimentation hydrique, l'influence d'un milieu salin et les conséquences d'une évolution de l'état structural des sols au cours de la vie de la plante.

Toutes ces études devront en outre et surtout prendre en considération et analyser la croissance et le développement de l'appareil souterrain, la dynamique du système radiculaire, son aptitude à explorer et exploiter les réserves du sol en fonction de la stucture physique et des caractéristiques hydrodynamiques de celui-ci.

Dans le second cas, la recherche de clones ou variétés à haute productivité devrait, mais à plus long terme, permettre d'améliorer encore les performances d'*Arundo donax*.

Toutefois, un problème important se pose pour le sélectionneur : la mise à fleurs d'*Arundo donax* ne se fait pas régulièrement en effet, chaque année, en tous milieux, ni même sur toutes les plantes situées dans un même milieu. De plus, en tout état de cause, la Canne de Provence ne fructifie jamais dans le sud de la France et il semble bien que cette stérilité soit la règle en tout climat de type méditerranéen.

Un programme d'amélioration ne peut donc utiliser actuellement qu'une reproduction par voie végétative : éclats de souche ou boutures de tige.

Dans cette conjoncture tout projet d'amélioration génétique implique que soit préalablement réalisée une étude des facteurs de la mise à fleurs et des causes de la stérilité en vue d'en tirer parti pour restaurer et contrôler une reproduction sexuée, par laquelle une variabilité génétique plus large pourrait être obtenue.

Ces expérimentations et ces recherches devraient permettre, dans les prochaines années, de formuler une conclusion sur l'intérêt de la Canne de Provence, sur les possibilités de maîtriser et d'améliorer sa production, et finalement de décider de la mise en place d'une culture nouvelle assurée d'un large débouché industriel.

Reçu pour publication en février 1974.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout particulièrement MM. Boubals et Mansat qui ont bien voulu se charger de la lecture de cet article et nous faire profiter ainsi de leurs conseils.

SUMMARY

GROWING AND PROCESSING OF A GIANT REED, *ARUNDO DONAX* L., A POTENTIAL PAPERMAKING RAW MATERIAL

The « Montpellier plant Improvement Station » has been studying for about ten years different annual or annually cultivated species as possible papermaking raw material in close collaboration with some industry research laboratories. One of the species tested, *Arundo donax* L. proved adapted to the production of printing paper, writing paper and packing-paper. In account of its higher agronomic properties, this plant became the main research subject.

Arundo donax L., a subspontaneous species in Southern France as well as in most mediterranean climates, is a giant reed which has never been rationnally studied or cultivated anywhere in the world. This is the reason why the authors had to undertake numerous studies in quite various fields ; This publication sums up the researches carried out and the various results obtained.

The first data about the growth of the aerial and the underground parts of the plant are first given.

Then follows the description of the different cultivation techniques developed after experimentation : soil setting, fertilization, planting period and conditions, chemical weeding, soil management. For the time being, the use of these techniques allows to expect a yearly mean yield of about 20 tons dry matter per hectare, including approximately 15 per 100 of the leaves.

The publication deals further with the different processing stages between field and factory : harvest, handling, conditioning and storage. A detailed study of the harvesting and conditioning of the green material is given.

The problem of harvest mechanization is considered as solved with the use either of forage harvesters, or of machines specially devised for sugar cane harvesting. A good conditioning of green cane « chips » is managed by dehydration, which is the sole reliable industrial technique ensuring a long conservation without important loss of dry matter, or prejudice to paper qualities.

Eventually the economic aspects of production and processing are described. The aim of these studies is to determine the minimum costs (threshold price) to be accounted for by producers and processors in order to allow the introduction of *Arundo donax* L. in their respective production systems without change in their present economical conditions.

However the results obtained are not yet sufficient to state that *Arundo donax* L. is bound to supply the paper industry with a new raw material. Nevertheless these results are encouraging enough to justify, on the one hand further studies, and on the other hand the starting of a first « pilot » production on 2 000 ha. This « pilot » production, developed and organized in close collaboration with members of the paper industry and agricultural profession gathered within interprofessional structures, is considered as the last experiment on an industrial scale and, when successful, as the first step towards the final aim, *i.e.a.* 20 000 ha culture in Camargue and in Crau.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ARNOUX M., 1962. Cellulose et plantes annuelles. *Bull. tech. Ing. Serv. agric.*, **173**, 853-875.

ARNOUX M., 1963. Rapport de mission en Italie : Visite des plantations de Canne de Provence de Torviscosa 1-30 (non publié).

ARNOUX M., COTTE A., 1966. Les données actuelles de l'exploitation du Sorgho pour la fabrication de pâtes à papier. *La Papeterie*, **7**, 950-954.

ARNOUX M., COTTE A., 1969. Recherche sur les plantes à cellulose utilisables en papeterie. *C. R. Acad. Agric. France*, **55**, 879-891.

BOUCHAYER M., BERNARD E., 1965. Emploi papetier de plantes annuelles (non publié).

BOUCHAYER M., BERNARD E., 1969. Emploi papetier de la Canne de Provence (non publié).

LAPEZE R., EYMERY A., 1966. Pâtes mi-chimiques pour cannelures à partir de Sorgho et de Canne de Provence (non publié).

ONOFRY A., 1940. La canna commune (*A. donax*). Cremonese libraio Editore Roma, 1-167.

ONOFRY A., 1952. El cultivo industrial de *Arundo donax* en Ramallo. *Rev. Argent. Agron.* **19** (3), 133-139.

PARIAT M., 1973. Nécessité de récupérer les déchets de bois. *La Papeterie*, **10**, 794-798.

TIREL J. C., ATTONATY J. M., 1972. La Canne de Provence. Étude économique prévisionnelle des conditions de production, récolte et transport, transformation (non publié).

Ann. Amélior. Plantes, 1974, **24** (4), 377-388.

LES VARIATIONS DE LA TENEUR EN PROTÉINES BRUTES CHEZ L'ORGE SELON LA VARIÉTÉ ET LE MILIEU : ÉTUDE PRÉLIMINAIRE A PARTIR D'ESSAIS CULTURAUX

L. JESTIN

Station d'Amélioration des Plantes,
Centre de Recherches de Clermont-Ferrand, I. N. R. A.,
Domaine de Crouelle,
63100 Clermont-Ferrand

RÉSUMÉ

Sept séries d'essais de variétés d'Orge d'hiver et de printemps productives ont été étudiées pour la variation de la richesse en protéines de leurs graines. Il existe une variation variétale de la teneur en protéines, beaucoup plus faible dans les conditions de l'étude que la fluctuation due au milieu, mais pouvant donner prise à une sélection même en tenant compte d'une liaison inverse protéines/rendement. Dans le cas présent, cette liaison n'a pu être mesurée avec précision. Les interactions variété-lieu sont significatives dans 5 séries d'essais. Le gain apporté par une sélection serait de toute façon faible sur un matériel analogue aux variétés étudiées.

I. — INTRODUCTION

L'Orge est utilisée en France en brasserie pour des quantités non négligeables, mais c'est surtout dans l'alimentation animale qu'elle est, à côté d'autres céréales, largement employée. Les réserves amylacées du grain représentent en effet une source énergétique intéressante. Mais, avec des teneurs en matières azotées moyennes de l'ordre de 11 à 12 p. 100 et une pauvreté relative en lysine, l'Orge ne peut, en particulier dans le cas de monogastriques comme les porcs, satisfaire à elle seule au bon équilibre d'une ration. La correction nécessaire pour la quantité et la qualité des protéines est réalisée classiquement maintenant par une incorporation de tourteaux, de soja ou autres.

Des problèmes de disponibilités en protéines peuvent conduire à s'interroger sur les possibilités des céréales, et parmi celles-ci de l'Orge, en tant que sources de matières azotées. Il peut être utile notamment d'envisager les perspectives d'une

sélection variétale chez l'Orge qui prendrait en compte la richesse en protéines, et la qualité de celles-ci.

Sur le plan de la recherche la question n'est pas nouvelle, même si les plus gros efforts ont porté jusqu'ici sur l'élévation de la productivité, et sur les facteurs de régularité du rendement : résistance à la verse et aux maladies (Oïdium) en particulier. L'amélioration de la qualité brassicole a, elle aussi, suscité d'importants travaux, mais avec, dans une mesure notable, un objectif opposé, puisqu'elle conduit — outre les critères de finesse, etc. — à une sélection « basse » pour la teneur en protéines.

Si l'on veut résumer l'historique des travaux sur l'aspect quantitatif des protéines de l'Orge, il est possible de retenir une première série de publications se rapportant principalement à l'effet du milieu sur l'expression de la teneur en matières azotées du grain.

Qu'il s'agisse des conditions climatiques et de l'alimentation en eau (WHITEHOUSE, 1970), du sol et de la fumure azotée (NEHRING, 1938 ; COÏC, 1965 ; ZOSCHKE, 1969), ou des maladies, il apparaît que ces différents facteurs conditionnent largement la teneur en protéines, soit en modulant l'absorption de l'azote du sol par la plante, soit en influençant les niveaux de synthèse respectifs des glucides et matières protéiques, et leur migration dans le grain (COÏC, 1968). Ceci se révèle avec une netteté particulière quand des accidents de verse, d'échaudage ou de stérilité partielle de l'épi accroissent la teneur en protéines. Ceci rend compte également en partie de la liaison inverse observée fréquemment entre cette teneur et le rendement en grains.

Dans un autre groupe de travaux, les auteurs s'attachent plus spécialement à l'étude de la variabilité génétique du caractère « teneur en protéines » du grain. Après des précurseurs comme REGEL (1909), des chercheurs, FREISTEDT (1935), MASSENBACH (1937), THIELEBEIN (1942), BARBACKI (1947) ont étudié des descendances de croisements, démontrant ainsi l'existence d'une variabilité génétique appréciable, à déterminisme polygénique. Ces études n'étaient toutefois pas suffisamment centrées sur le problème qui se révèle essentiel dès que l'on envisage une sélection, à savoir la liaison inverse signalée ci-dessus. GRANT et MCCALLA en 1949 ont clairement établi l'existence de cette liaison inverse rendement-teneur en protéines entre génotypes de productivité très variable issus d'un même croisement sans sélection (coefficients de corrélation de l'ordre de $r = -0{,}50$ à $r = 0{,}80$).

Ils ont parlé de liaison inverse de nature « physiologique » se manifestant de manière analogue selon que les différences de rendement sont variétales ou résultent de l'action des facteurs de milieu. Une variation génétique de la teneur en protéines indépendante du rendement n'apparaîtrait alors selon eux que dans des limites plus étroites (environ 0,9 point de protéines d'après leurs données et leur matériel).

Toutefois MIDDLETON *et al.* (1961) ont suivi aux U. S. A. 18 variétés d'orges alternatives en essai dans 13 stations et trouvé des variations de teneurs en protéines hautement significatives (de 9,3 à 10,7 p. 100 de protéines brutes) entre génotypes, bien plus faibles cependant que les fluctuations enregistrées entre lieux (8,0 à 14,5 p. 100). L'interaction génotype-lieu était significative, par contre dans leur cas, il n'apparaissait pas de liaison significative entre rendement et teneur en protéines des variétés.

Ce dernier résultat contredit ceux de GRANT et MCGALLA, mais il est intéressant d'observer que ces derniers utilisaient des génotypes de productivité très variable

et souvent faible : en fait pour les deux groupes d'auteurs, la variation « indépendante » de la teneur en protéines est voisine (et de l'ordre de 1 point).

Le but du travail rapporté dans le présent article est surtout de tenter de fixer, pour des conditions de végétation de plein champ prévalant en France, un ordre de grandeur des variations de teneurs en protéines brutes entre différentes variétés de bonne productivité, et d'estimer l'importance des variations génétiques observables sur un tel matériel par rapport aux variations dues au lieu. Si l'on veut réunir une grande diversité de lieux et de variétés en essai, ceci représente un dispositif expérimental trop lourd pour une approche préliminaire.

C'est pour cette raison que nous avons cherché à tirer parti des données résultant de deux années d'expérimentation C. T. P. S. (1) (1971 et 1972) sur orges d'hiver et de printemps. L'inconvénient majeur réside dans le fait qu'un échantillonnage effectif n'est pas réalisé, à la fois pour les lieux et pour les variétés. De plus les variétés ont été sélectionnées pour la productivité. Malgré ces limites nous pensons que les résultats présentés sont susceptibles d'apporter quelques points de repère, à partir d'un matériel de création récente, avant d'entreprendre éventuellement des études plus fines de descendances de croisements.

Compte tenu de l'origine des données, l'aspect qualitatif n'a pu être abordé dans cette étude. La composition en acides aminés des protéines de l'Orge, et ses variations selon la variété et le milieu auraient pourtant représenté un complément utile à ce travail. Ce problème « qualité » a déjà suscité d'assez nombreux travaux depuis les publications de BISHOP (1928, 1929, 1930) sur les proportions des fractions protéiques d'OSBORNE jusqu'à celles de POSTEL (1956), MUNK (1970, 1972). Récemment en France, MOSSÉ et BAUDET (1969) ont étudié l'aspect qualitatif sur le plan variétal chez l'Orge, mettant notamment en évidence l'évolution de la composition en acides aminés (baisse du taux de lysine) parallèle à l'accroissement du taux de protéines totales, et l'existence de différences variétales pour la richesse en lysine du grain.

II. — ANALYSE DES DONNÉES DE L'ENQUÊTE

1. — *Observations sur les données étudiées*

Les données analysées proviennent de 4 séries d'essais d'orges d'hiver et 3 d'orges de printemps réalisés en 1971 et 1972 sous l'égide du C. T. P. S. Au niveau de chaque série, un ensemble de variétés est représenté chaque fois dans une dizaine de lieux répartis sur l'ensemble de la France (dispositif orthogonal pour chaque série). Pour chaque lieu, le rendement en grain X a été estimé à la récolte à partir d'essais-blocs. La teneur en protéines brutes Y par contre n'a été mesurée, pour chaque variété dans chaque lieu, que sur un échantillon représentatif de l'ensemble des répétitions. La teneur Y est évaluée sur la base $Y = 6{,}25 \times N$, où N est le pourcentage d'azote par rapport au grain sec. Les taux d'humidité étant pratiquement constants, on n'a pas effectué de correction sur cette base pour les calculs.

(1) Comité technique permanent de la Sélection, contrôlant les essais réalisés en vue de l'inscription au *Catalogue officiel*.

Le matériel expérimenté est constitué de lignées sélectionnées à partir de croisements faisant intervenir des géniteurs européens pour la plupart. Les lignées de printemps en particulier ont fréquemment des ancêtres communs parmi les vieilles populations de Bavière, Suède, Bohème. Cependant dans de nombreux cas les sélectionneurs ont utilisé des gènes de résistance aux maladies (Oïdium, Charbon, etc.) de géniteurs exotiques ou même de type sauvage (*H. spontaneum*). Après plusieurs cycles de sélection en Europe, et de « brassage » de génotypes de différentes origines, il serait difficile d'essayer d'évaluer le degré de parenté réel des diverses lignées, et de prétendre leur attribuer une provenance géographique bien précise.

Les principales données relatives aux 7 séries d'essais sont regroupées dans le tableau 1.

TABLEAU 1

Données principales des 7 séries d'essais analysées

Série d'essais	Orges d'hiver				Orges de printemps		
	Zone Nord 1971	Zone Sud 1971	Zone Nord 1972	Zone Sud 1972	A (2) 1971	AB (2) 1971	1972
Nombre de :							
variétés	14	9	10	7	16	15	39
milieux	10	10	7	12	11	9	10
Rendement moyen (q/ha)	53,7	43,7	53,9	54,1	46,5	44,5	51,4
CV (1) en p. 100 du rendement	24,1	15,4	14,8	18,0	15,1	15,4	12,6
Teneur en protéines (%)	12,3	11,2	11,0	10,8	12,3	12,3	11,8
CV de la teneur (%)	13,6	12,4	9,0	11,5	10,0	9,8	12,7

(1) CV : coefficient de variation moyen sur l'ensemble des données de chaque série.
(2) Série A : variétés en cours d'inscription au Catalogue ;
Série AB : variétés en cours d'inscription ou récemment inscrites.

2. — *Variations observées dans les séries d'essais*

L'étude des variations a été conduite pour chaque série selon un schéma d'analyse de variance à 2 facteurs (variété et lieu). La teneur en protéines est une mesure en pourcentage qui dans le cas étudié varie de 9,0 à 16,5 p. 100. Nous avons admis qu'un telle étendue de variation permet d'attendre des distributions quasiment normales pour les données.

Les calculs ont été effectués parallèlement pour le rendement en grains et pour la teneur en protéines à titre de comparaison. Les résultats correspondants sont regroupés dans le tableau 2.

Il a paru intéressant de rechercher l'existence d'interactions variétés-lieux (1).

(1) Les calculs d'interaction ont été réalisés au service de biométrie du C. N. R. A. (programme RESID) par M. DENIS que nous remercions à cette occasion.

TABLEAU 2

Analyse des variations pour le rendement en grains : X, et la teneur en protéines : Y

	Orges d'hiver								Orges de printemps					
Série d'essais	Zone Nord 1971		Zone Sud 1971		Zone Nord 1972		Zone Sud 1972		A 1971		AB 1971		1972	
Caractère	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Carré moyen :														
lieu	2 254,9	16,55	218,7	12,99	429,1	6,78	74,6	9,32	539,3	21,41	593,4	21,24	1 275,4	78,35
variété	94,6	2,51	73,7	1,98	59,6	1,75	81,2	1,83	114,8	1,26	61,4	0,41	68,6	2,08
résiduel	15,7	0,45	20,6	0,55	23,2	0,20	7,2	0,26	9,8	0,23	5,9	0,17	6,7	0,26
Test F :														
F « lieu »	143,2***	36,5***	10,6***	23,8***	18,5***	33,4***	10,4***	35,4***	55,1***	95,1***	100,0***	126,8***	189,1***	305,8***
F « variété » ...	6,0***	5,5***	3,6**	3,6***	2,6	8,6***	11,3***	7,0***	11,7***	5,6***	10,4***	2,5**	10,2***	8,1**
Interactions :														
Test G	0,33★★	0,39*	0,74**	0,71*	0,45★★	0,53*	0,43★★	0,55**	0,43**	0,34*	0,34★★	0,35★★	0,38 (1) **	0,31 (1) ★
Carré moyen résiduel sans interactions	15,2	0,40	8,40	0,25	21,51	0,16	7,0	0,20	7,7	0,20	5,7	0,16	5,41	0,21

N. B. : Déduire les d.d.l. à partir du tableau 1.

Test F : signification : *** : seuil 1 p. 1 000
** : seuil 1 p. 100

Test G : signification : ** : seuil 1 p. 100
* : seuil 5 p. 100
★ : seuil 10 p. 100
★★ : seuil supérieur à 10 p. 100.

(1) Sur les variétés 1 à 20 (capacité maximum du programme RESID).

Pour la teneur en protéines, on ne disposait pas de répétitions, mais seulement d'un échantillon moyen pour chaque variété dans un lieu donné. Par conséquent, une analyse de variance classique ne permettait pas d'extraire dans chaque série d'essais une composante d'interaction. C'est pourquoi on a eu recours à la méthode de MANDEL (1971) de détection des interactions possibles en l'absence de répétitions.

a) *Effets principaux « lieux » et « variétés ».*

De l'analyse de l'ensemble des données se dégagent les faits suivants :

— en valeur relative, les variations globales du rendement sont de l'ordre de 1,5 fois plus importantes que celles de la teneur en protéines ;

— les effets « lieux » et « variétés » sont très hautement significatifs pour les deux caractères dans la plupart des séries d'essais.

Chez les orges d'hiver, l'effet « lieu » est de 2 à 3 fois plus important que l'effet « variété » pour la teneur en protéines (2 à 3 pour le rendement). Chez les orges de printemps étudiées, le rapport de ces mêmes effets est compris entre 4 et 7 pour les protéines, et entre 2 et 2,5 pour le rendement.

— l'erreur résiduelle incluant les interactions possibles varie de 0,4 à 0,7 point pour la teneur en protéines selon la série d'essais ; pour le rendement en grains cette valeur varie de 2,4 à 4,8 q/ha.

— il paraît intéressant de signaler l'étendue de variation des moyennes variétales pour la teneur en protéines : elle se limite à 0,7 point (11,9 à 12,6 p. 100) pour la série AB 1971 d'orges de printemps, et atteint 2,3 points pour la série : orges de printemps 1972. L'étendue moyenne de 1,5 point sur les 7 séries étudiées constitue un ordre de grandeur très voisin de celui trouvé par MIDDLETON *et al.* (1961) dans leurs propres séries d'essais.

b) *Les interactions variétés-lieux.*

Le modèle de MANDEL (1971) utilisé pour le calcul, permet de mettre en évidence l'existence d'interactions variétés-lieux significatives dans 5 séries sur 7 pour la teneur en protéines, et dans 3 séries sur 7 pour le rendement en grains. La signification est testée globalement par le critère G. de JOHNSON et GRAYBILL (1972). Les principaux résultats sont rapportés dans le tableau 2, où figure aussi la nouvelle erreur résiduelle obtenue en retranchant l'effet « interaction » s'il existe.

En vue de disposer d'une première indication de l'importance des effets « interactions » quand ils apparaissent par rapport aux effets principaux « variétés », on a évalué, dans chaque série concernée, la moyenne des valeurs absolues de ces deux catégories d'effets estimées pour chaque variété : l'effet « interaction » représente 68 à 77 p. 100 de l'effet principal « variété », s'agissant de la teneur en protéines (5 séries), contre 8 à 14 p. 100, s'agissant du rendement en grains (3 séries).

Pour tenter de préciser les modalités d'interactions, on a eu recours ensuite à une méthode préconisée par de nombreux auteurs, dont FINLAY et WILKINSON (1963), PERKINS et JINKS (1968), BREESE (1969), cités par FREEMAN (1973). Ces chercheurs ont montré que souvent les interactions variété-lieu, pour un paramètre comme le rendement ou autre, peuvent en grande partie s'expliquer par un accroissement linéaire à des milieux de plus en plus « favorables » avec des pentes différentes selon les variétés. Indiquons brièvement que dans cette méthode la valeur de chaque milieu est estimée par la moyenne des résultats variétaux qui y sont obtenus. Il est ensuite

possible de calculer, pour chaque variété une régression linéaire variété-lieu : une droite ne différant pas significativement de la première bissectrice correspond à l'absence d'une composante « linéaire » d'interaction pour la variété en jeu. Remarquons enfin que les composantes non linéaires d'interaction (écarts significatifs à la droite) ne peuvent avec cette méthode, être estimés et testés qu'en présence de répétitions pour chaque variété dans chaque lieu (d'où l'utilité de la technique de MANDEL dans notre cas).

Nous avons soumis à ce modèle « interactions linéaires » les données de teneurs en protéines pour lesquelles le test G de Graybill et Johnson faisait conclure à l'existence d'interactions significatives.

Il apparaît que sur les 5 séries de données impliquées, les composantes linéaires d'interactions ne sont généralement pas significatives au seuil $\alpha = 0{,}05$, sauf pour la série d'orges d'hiver — zone Nord, 1971 — où 5 droites sur 14 ont une pente différente significativement de la première bissectrice.

3. — *La liaison inverse entre les caractères « teneur en protéines » et « rendement en grains »*

— Au niveau global (tous lieux et variétés confondus), 3 séries d'essais sur 7 présentent des coefficients de corrélation simples r négatifs, significatifs au seuil $\alpha = 0{,}05$, comme le montre le tableau 3.

TABLEAU 3

Corrélations rendement en grains-teneur en protéines

Série d'essais	Orges d'hiver				Orges de printemps		
	Zone Nord 1971	Zone Sud 1971	Zone Nord 1972	Zone Sud 1972	A 1971	AB 1971	1972
Corrélation générale r_T (1)	— 0,47**	— 0,48***	+ 0,05	— 0,08	+ 0,03	— 0,37***	+ 0,09
Corrélations entre moyennes (1) :							
– variétales	— 0,28	— 0,32	— 0,68*	— 0,48	+ 0,03	+ 0,24	— 0,08*
– de lieux	— 0,58	— 0,48	+ 0,39	— 0,02	— 0,04	— 0,45	+ 0,13
Proportions de corrélations significatives (2) :							
– intra-variétés							
$r > 0$	0/14	0/9	1/10	0/7	0/16	0/15	0/39
$r < 0$	7/14	3/9	0/10	0/7	1/16	4/15	0/39
– intra-lieux							
$r > 0$	0/10	1/10	0/7	0/12	0/11	1/9	1/10
$r < 0$	2/10	2/10	4/7	1/12	1/11	2/9	3/10

N. B. : signification aux seuils : *** : $\alpha = 1$ p. 1 000 ; ** : $\alpha = 1$ p. 100 ; * : $\alpha = 5$ p. 100.

(1) r_T coefficients de corrélation simple tous lieux et variétés confondus.

(2) au seuil $\alpha = 0{,}10$.

Par contre la série « orges de printemps 1972, présente un coefficient $r = + 0,09$ positif à la limite de la signification au seuil $\alpha = 0,10$. Il semble difficile d'interpréter une situation aussi disparate : rappelons cependant qu'à chaque série d'essais correspond un groupe de variétés différent.

— Les coefficients de corrélations entre moyennes variétales et entre moyennes de lieux rapportés au même tableau 3 ne sont pas, dans l'ensemble significatifs (faible nombre de degrés de liberté), avec une seule exception : la série d'orges d'hiver — zone Nord — 1972.

— Enfin les corrélations dans les classes (lieux et variétés) sont également hétérogènes. On s'est borné à rapporter les proportions de ces corrélations — positives ou négatives — qui sont significatives au seuil $\alpha = 0,10$.

4. — *Approche de la variabilité génétique pour la teneur en protéines : cas particulier du matériel étudié*

L'échantillonnage variétal n'est pas aléatoire. De plus l'existence d'interactions variétés-lieux fait que les estimations d'effets principaux dépendent (FREEMAN, 1973), des lieux choisis (qui n'ont pas pu eux-mêmes être échantillonnés). Malgré ces sérieuses limitations, une estimation de la variance génétique du matériel en essai a été calculée : le but est de disposer de valeurs de même dimension, compte tenu des degrés de liberté, pour confronter les 7 séries d'essais.

TABLEAU 4

Estimations de la variabilité génétique pour la teneur en protéines dans le matériel étudié

Série d'essais	Orges d'hiver				Orges de printemps		
	Nord 1971	Sud 1971	Nord 1972	Sud 1972	A 1971	AB 1971	1972
Composantes de la variance :							
résiduelle : S^2_R	0,45	0,55	0,20	0,31	0,23	0,17	0,26
lieux : S^2_E	1,15	1,38	0,66	1,21	1,32	1,40	2,00
variétale : S^2_G	0,24	0,14	0,22	0,11	0,09	0,03	0,18
totale : S^2_P	1,84	2,07	1,08	1,63	1,64	1,60	2,44
S^2_G/S^2_P	0,13	0,07	0,20	0,07	0,06	0,02	0,07
Bornes de S^2_G (1)	0,07	0,04	0,06	0,05	0,03	0,00	0,03
	0,50	0,75	0,55	1,08	0,17	0,06	0,18
Bornes de S^2_R (1)	0,36	0,41	0,14	0,23	0,18	0,13	0,22
	0,60	0,79	0,26	0,45	0,29	0,22	0,30

(1) Intervalle de confiance 95 p. 100.

Avec des notations usuelles (S^2 : variance estimée, CM : carré moyen, G : génotype, E : lieu, P : phénotype, R : résiduelle), le tableau d'analyse de la variance peut se décomposer comme suit (SNEDECOR et COCHRAN 1956 ; RIVES, 1971) :

avec a milieu et b variétés.

$$\begin{aligned} \text{Variétés} &: CM_G = CM_R + aS^2_G \\ \text{Lieux} &: CM_E = CM_R + bS^2_E \\ \text{Erreur} &: CM_R = S^2_R. \end{aligned}$$

avec d'autre part : $S^2_p = S^2_G + S^2_E + S^2_R$.

Le tableau 4 donne les estimations des 3 composantes de S^2_p Le calcul de précision approché sur S^2_G a été effectué d'agrès MORIGUTI (1954). On observera que les estimations sont peu précises, même si les 7 séries d'essais conduisent à des valeurs assez concordantes pour les variances génétiques.

Dans les séries d'essais où aucune liaison inverse rendement-protéines ne paraît se manifester entre variétés, S^2_G est susceptible d'indiquer effectivement la variabilité du matériel pour la teneur en protéines, compte non tenu des interactions. Par contre une telle liaison existe dans la série d'orges d'hiver : zone Nord 1972, où elle se traduit par un coefficient $r = 0{,}68$. Dans un tel cas (SNEDECOR et COCHRAN, 1956) une part r^2 de la variance « protéines », soit 46 p. 100 est expliquée par la variation du rendement en grains. La variance indépendante S^2_G pour la teneur serait alors limitée à $S^2_G = 0{,}10$.

III. — DISCUSSION

1. — *Les données analysées*

Les variétés étudiées n'incluent pas de génotypes d'origine exotique (Éthiopie, Népal, Extrême-Orient). Ces derniers ne sont pas adaptés à nos conditions de végétation pour la plupart (en particulier en ce qui concerne la précocité, la réaction photopériodique, la sensibilité aux maladies). Leur présence aurait permis d'obtenir une meilleure image de la variabilité génétique à l'intérieur de l'espèce *H. vulgare*. On peut, au vu d'une littérature abondante, considérer comme acquise la liaison inverse rendement-teneur en protéines quand le domaine d'étude va jusqu'aux variétés inadaptées, à faible rendement. Le but du présent travail consistait à s'adresser délibérément à des génotypes « productifs » dans les milieux étudiés. Bien que le matériel utilisé n'ait pas été échantillonné, il est raisonnable de le considérer comme représentatif des variétés d'orges actuelles adaptées à nos conditions, qu'il serait probablement indispensable de faire intervenir dans tout programme de sélection — du moins à moyen terme.

2. — *Les variations observées*

Le matériel étudié résulte d'une sélection pour le rendement en grains — notamment — mais non pour la teneur en protéines : en dehors des limitations dues à l'échantillonnage (lieux et variétés) ceci restreint la portée des résultats si l'on veut faire un parallèle entre les deux caractères. Des interactions lieu-variété, faibles ou inexis-

tantes pour le rendement, peuvent provenir du fait que les sélectionneurs retiennent des lignées stables pour ce caractère, dans une large zone de culture.

Il existe des différences variétales pour le caractère teneur en protéines, si l'on ne prend pas en compte les interactions avec le milieu et les liaisons inverses avec le rendement. Dans les conditions de l'étude, leur estimation se révèle imprécise, même si l'on fait intervenir une quantité importante de données.

Les interactions lieux-variétés pour la teneur en protéines paraissent importantes : les résultats d'une sélection pour ce caractère seraient dans ce cas très dépendants du milieu particulier où cette sélection a été conduite. Il résulte des calculs d'interaction que la teneur d'une variété estimée dans un lieu donné par 4 répétitions serait comprise dans un intervalle d'étendue ± 0,40 à ± 0,60 point de protéines pour une confiance de 95 p. 100 (compte tenu des interactions) : la conséquence pratique de ce fait est qu'une sélection efficace nécessiterait rapidement un nombre considérable d'analyses de teneurs et poserait un problème technique et financier qui ne sera pas abordé ici.

3. — *La liaison rendement-teneur en protéines*

Les données étudiées ne permettent pas une analyse fine de cette liaison, les résultats étant très hétérogènes d'une série à l'autre. Mais ceci ne provient à première vue ni des interactions mises en évidence, ni de différences entre séries pour la grandeur des erreurs résiduelles ou l'étendue de variation des rendements ou des teneurs en protéines des variétés. L'observation des corrélations entre et dans les classes suggère que la liaison tend à se manifester plus fréquemment, pour les données étudiées, entre variétés qu'entre lieux, notamment chez les orges d'hiver, ceci alors même que les effets variétés sont bien moins importants que les effets lieux. C'est là une tendance qui, si elle se confirme, peut limiter les perspectives d'une sélection efficace pour la teneur en protéines à partir d'un matériel analogue à celui étudié. On peut penser qu'une étude détaillée des corrélations rendement-teneur en protéines requiert davantage de données par lieu, un échantillonnage effectif des variétés et lieux, et nécessite peut-être un contrôle ou une mesure des facteurs du milieu climatique et pédologique.

IV. — CONCLUSION

Une sélection pour la teneur élevée en protéines, tenant compte du rendement, à partir de géniteurs du type de ceux étudiés paraît envisageable, mais pour un gain faible, même dans le meilleur des cas (0,5 à 1 point par exemple). L'existence d'interactions variété-lieu, ainsi que de liaisons inverses avec le rendement, pourrait en limiter encore la portée.

Si elle présente l'intérêt de fournir des ordres de grandeur utiles, estimés dans une grande diversité de lieux, une analyse de séries d'essais telle que celle-ci ne permet pas une étude précise de l'héritabilité au sens large, ni de la liaison inverse signalée. Une approche complémentaire peut résider dans l'étude de descendances de croisements expérimentaux conduits avec et sans sélection, faisant intervenir éventuellement des géniteurs exotiques.

Reçu pour publication en octobre 1973.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier MM. GALLAIS et MOSSÉ, qui ont bien voulu se charger de la lecture de cet article, ainsi que M. de FOSSEUX qui nous a fourni les données d'essais C. T. P. S.

SUMMARY

VARIATIONS OF CRUDE PROTEINS CONTENT IN BARLEY ACCORDING TO VARIETY AND ENVIRONMENT : PRELIMINARY STUDY FOLLOWING CULTURAL TESTS

Variation of protein content in seven series of trials of high-yielding spring and winter Barley varieties is analysed. Varietal differences in protein content exist. Although these are small in comparison with variation due to the environment in the conditions of this study, they suggest that selection would be possible even if there is a negative correlation between yield and protein. The variety-location interactions are significant in 5 series. Certainly only small increases could be expected from a breeding programme using material comparable with the varieties studied.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BARBACKI S., 1947. Further research on the inheritance and variability of nitrogen content in the grain of barley. *Rocsn. Nauk. Rolnic. I. Lesnyck (Polish Agr. a. Forest. Ann.).*, **49**, 267-315.

BISHOP L. R., 1928. Barley proteins. I. The composition and quantitative estimation of barley proteins. *J. Inst. Brewing*, **34**, 101-108.

BISHOP L. R., 1929. Composition and quantitative estimation of the barley proteins. II. *J. Inst. Brewing*, **35**, 316-322.

BISHOP L. R., 1930. The composition and determination of the barley proteins III. Fourth report on barley proteins. The proteins of barley during development and storage and in the mature grain. *J. Inst. Brewing*, **36**, 336-349.

BREESE E. L., 1969. The measurement and significance of genotype-environment interactions in grasses. *Heredity*, **24**, 27-44.

COÏC Y., 1965. in : SCHARRER K., LINSER H., *Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung* Springer Verlag, wien. New York, **3**, 269-282.

COÏC Y., 1968. La synthèse protéique chez les végétaux et les aspects quantitatifs et qualitatifs de la production agricole. *Agro Chimica*, **12**, 306-331.

FINLAY K. W., WILKINSON G. N., 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust. J. agric. Res.*, **14**, 742-754.

FREEMAN G. H., 1973. Statistical methods for the analysis of genotype-environment interactions. *Heredity*, **31**, 339-354.

FREISTEDT P., 1935. Neue Zielsetzungen der Gerstenzüchtung. *Z. Pflanzenzücht*, **20**, 169-209.

GRANT M. N., MCCALLA A. G., 1949. Yield and protein content of wheat and barley. *Can, J. Res., C*, **27**, 230-240.

JOHNSON D. E., GRAYBILL F. A., 1972. An analysis of a two-way model with interaction and no replication. *J. Amer. statist. Ass.*, **67**, 388-394.

MANDEL J., 1971. A new analysis of variance model for non additive data. *Technometrics*, **13**, 1-18.

MORIGUTI S., 1954. *Reports of Statistical Applications in Research.* Japanese Union of Scientists and Engineers, **3**, 29.

MOSSÉ J., BAUDET J., 1969. Étude intervariétale de la qualité protéique des orges : taux d'azote, composition en acides aminés et richesse en lysine. *Ann. Physiol. Vég.*, **11**, 51-66.

MUNCK L., 1970. Increasing the nutritional value in cereal protein-Basic research on the Hily character. in : *Improving plant protein by nuclear techniques, I. A. E. A./F. A. O., S. T. I./P. U. B.* 258, *Vienna*, 319-330.

MUNCK L., 1972. Improvement of nutritional value in cereals. *Hereditas*, **72**, 1-128.

NEHRING K., 1938. Uber den Einfluss von Wasser und Stickstoffversorgung auf den Eiweissgehalt verschiedener Gerstensorten. *Bodenk. Pflanzenernahrung*, 9/10, 395-423.

PERKINS J. M., JINKS J. L., 1968. Environmental and genotype-environmental components of variability. III. Multiple lines and crosses. *Heredity*, **25**, 29-40.

POSTEL W., 1956. Der Einfluss genetischer und ökologischer Faktoren aud den Eiweisshaushalt von Sommergerstencaryopsen unter besonderer Berücksichtigung der exogenen Aminosäuren. *Züchter*, **26**, 211-239.

REGEL R. E., 1909. Proteingehalt der russischen Gersten. *Bull. appl. Bot. Genet. Plant. Breed.*, **2**, 519.

RIVES M., 1971. Modèles à effets fixes, modèles à effets aléatoires dans l'analyse de variance. *Ann. Amélior. Plantes*, **21**, 23-28.

SNEDECOR G. W., COCHRAN W. G., 1956. *Statistical methods*, 270, 181-182, 6e ed. The Iowa State College Press, Ames, Iowa, U. S. A.

THIELEBEIN M., 1942. Untersuchungen über die Vererbung des Eiweibgehaltes an reinen Linien und Kreuzungen von Sommergerste. *Diss. Halle. Univ.*

WHITEHOUSE R. N. H., 1971. Variation in protein and amino-acid levels in barley. Eucarpia, *Proc. Dijon, meeting of sections cereals and Physiology*, 307-316.

ZOSCHKE M., 1970. Effect of additional nitrogen nutrition at later growth stages on protein content and quality in barley. in : *Improving plant protein by nuclear techniques, I. A. E. A./F. A. O., S. T. I./ P. U. B.*, 258, *Vienna*, 345-356.

Ann. Amélior. Plantes, 1974, **24** (4), 389-403.

ÉTUDE DES POSSIBILITÉS D'UTILISATION DE LA POLYPLOÏDIE DANS L'AMÉLIORATION DU MELON (*CUCUMIS MELO* L.)

R. DUMAS de VAULX

Station d'Amélioration des Plantes maraîchères,
Centre de Recherches d'Avignon, I. N. R. A.,
84140 Montfavet

RÉSUMÉ

Cet article présente les principaux résultats obtenus concernant l'utilisation de la polyploïdie pour l'amélioration du Melon :

— l'état tétraploïde permet d'améliorer sensiblement les qualités de chair des Melons de type Cantaloup Charentais mais est souvent associé à des défauts importants ;
— une technique de doublement chromosomique par la colchicine adaptée au Melon a été mise au point ;
— des corrélations significatives ont été observées entre les diploïdes et les tétraploïdes correspondants pour les principaux caractères extérieurs du fruit mais aucune pour les caractères de chair observés ;
— des observations cytologiques en fluorescence ont permis de montrer que la germination du pollen et la croissance des tubes polliniques n'étaient pas la cause du faible nombre de graines par fruit ayant un embryon développé chez les tétraploïdes autofécondés. Les croisements diploïde par tétraploïde dans les deux sens ont été également étudiés ;
— les performances de quelques lignées tétraploïdes ont été comparées à celles de variétés diploïdes de référence sous trois conditions de culture.

INTRODUCTION

La qualité du fruit est un caractère essentiel à prendre en considération dans l'amélioration de variétés de Melon du type Cantaloup Charentais. Les difficultés rencontrées en utilisant les méthodes classiques de sélection incitent à explorer l'intérêt d'autres techniques, parmi lesquelles l'utilisation de la polyploïdie. Les premiers essais ayant montré un effet bénéfique de l'état tétraploïde sur la saveur et la conservation, une étude plus approfondie a été entreprise.

Les premières études de la polyploïdie chez le Melon sont déjà anciennes Shifriss (1942), Batra (1952), Uchikawa (1952), Kubicki (1962). Les auteurs se limitent

généralement à une description des caractères des tétraploïdes et à des observations cytologiques. Ils signalent cependant les qualités de chair intéressantes des fruits tétraploïdes mais n'envisagent pas leur utilisation pour l'amélioration de la qualité. Plus récemment d'autres laboratoires (STAMBERA, 1972) ont entrepris d'examiner les possibilités d'utilisation de la polyploïdie chez le Melon, mais ces études, portent sur des variétés éloignées du type Charentais qui est le plus apprécié en France.

Les fruits des tétraploïdes de type Charentais ont une chair plus épaisse, plus colorée, plus ferme et à teneur en sucre plus élevée que les diploïdes correspondants. Ces qualités sont souvent associées à des défauts importants comme un rendement inférieur, une plus grande tardiveté, une tendance à l'éclatement des fruits.

Le schéma de sélection utilisé pour essayer d'obtenir des tétraploïdes présentant de bonnes qualités de chair sans les principaux défauts généralement observés peut se résumer ainsi :

— tétraploïdisation de lignées diploïdes ;
— sélection des tétraploïdes les plus intéressants et observation de leur évolution au cours des générations ;
— comparaison des meilleurs lots tétraploïdes retenus à des variétés diploïdes de référence.

Cet article présente les principaux résultats obtenus sur :

— les techniques du doublement chromosomique et leur amélioration ;
— la recherche de corrélations entre les caractères des diploïdes et des tétraploïdes correspondants pour faciliter le choix des lignées à doubler ;
— la fertilité du matériel tétraploïde ;
— la comparaison de la valeur de quelques tétraploïdes à des variétés diploïdes en conditions de culture.

I. — AMÉLIORATION DES TECHNIQUES DE DOUBLEMENT CHROMOSOMIQUE

Matériel et méthode

Les plantules à traiter sont décapitées au-dessous de la première feuille, dès le début de l'allongement de l'axe épicotylé pour ne laisser que les cotylédons et leurs yeux axillaires car ces yeux pouvant être traités à un moment où leur structure est moins complexe que celle de l'apex, on obtient des rameaux moins chimériques après traitement. Le traitement tétraploïdisant est appliqué immédiatement après la décapitation.

L'agent mitoclasique utilisé est la colchicine (pure cristallisée Prolabo nº 68.4295) en solution aqueuse, à des doses variant de 0,5 à 1 p. 100. Deux mouillants ou adjuvants ont été essayés : le tween 80 (OSI) et une huile minérale (PO_7-Seppic). Ce dernier adjuvant avait déjà été utilisé avec succès sur le Piment (POCHARD, communication personnelle).

Le tri des rameaux tétraploïdes se fait par observation microscopique du pollen. Le grain de pollen diploïde se distingue du grain haploïde par la présence assez générale de quatre pores germinatifs au lieu de trois et par un diamètre (passant par un pore) significativement supérieur :

diamètre du grain de pollen diploïde : $78{,}3 \pm 0{,}7\ \mu$
diamètre du grain de pollen haploïde : $60{,}4 \pm 0{,}8\ \mu$

Dans la génération C_1 qui suit le doublement on procède à des vérifications cytologiques du nombre de chromosomes dans les méristèmes radiculaires par une méthode mise au point au laboratoire (DUMAS de VAULX, 1970).

TABLEAU I *a*

Résultats des traitements des yeux cotylédonaires, par solution aqueuse de colchicine à 0,5 et 1 p. 100

Doses	Effectifs observés			Proportions pour 100 plantes		
	(1) NT	(2) NR	(3) N *4n*	(4) tR	(5) t*4n*/R	(6) t*4n*/T
0,5 p. 100	66	58	17	87,9	29,3	25,8
1 p. 100	60	47	19	78,3	40,4	31,7

— Comparaison de l'action des 2 doses sur la repousse des yeux
$\chi^2 = 2{,}061$ d.d.l. 1 Prob. 0,10

— Comparaison de l'action des 2 doses sur le doublement
$\chi^2 = 1{,}437$ d.d.l. 1 Prob. 0,30

(1) NT : Nombre de plantes traitées.
(2) NR : Nombre de plantes avec une repousse.
(3) N *4n* : Nombre de plantes avec au moins un secteur *4n*.
(4) tR : Pourcentage de plantes traitées avec des repousses.
(5) t*4n*/R : Pourcentage de plantes présentant une repousse avec au moins un secteur *4n*.
(6) t*4n*/T : Pourcentage de plantes traitées ayant au moins un secteur *4n*.

TABLEAU I *b*

Résultats des traitements des yeux cotylédonaires par solution aqueuse de colchicine à 0,5 et 1 p. 100 additionnée d'un mouillant (TW) *ou d'une huile minérale* (HM)

Traitements	Effectifs observés			Proportions pour 100 plantes		
	(1) NT	(2) NR	(3) N *4n*	(4) tR	(5) t*4n*/R	(6) t*4n*/T
0,5 p. 100 + HM	95	71	44	74,7	62,0	46,3
1 p. 100 + HM	95	39	23	41,1	59,0	24,2
0,5 p. 100 + TW	97	36	17	37,1	47,2	17,5
1 p. 100 + TW	98	16	10	16,3	62,5	10,2

— Comparaison de l'action des 2 doses :
sur la repousse $\chi^2 = 29{,}262$ d.d.l. 1 Prob. < 0,001
sur le doublement $\chi^2 = 0{,}136$ d.d.l. 1 Prob. < 0,50

— Comparaison de l'action des 2 adjuvants :
sur la repousse $\chi^2 = 38{,}628$ d.d.l. 1 Prob. < 0,001
sur le doublement $\chi^2 = 1{,}190$ d.d.l. 1 Prob. < 0,30

(1), (2), (3), (4), (5), (6) : voir légendes du tableau 1 *a*.

Résultats

Différents essais ont été réalisés pour adapter à notre matériel les techniques de doublement chromosomique par la colchicine.

— Dans un premier essai nous avons comparé l'efficacité de deux concentrations de colchicine, 0,5 et 1 p. 100, en solution aqueuse sans adjuvant. Les concentrations choisies étaient relativement élevées pour essayer d'avoir un maximum de repousse avec des secteurs tétraploïdes même au prix d'une forte mortalité. Les résultats de cet essai figurent au tableau 1 *a*. Il n'a pas été observé de différences significatives entre les deux concentrations essayées. Cependant, comme on pouvait s'y attendre, la concentration la plus forte (1 p. 100) a plus affecté la repousse des yeux traités et augmenté le pourcentage des repousses ayant au moins un secteur doublé.

— Dans un autre essai deux adjuvants pouvant favoriser la pénétration ou l'efficacité de la colchicine furent testés. Le tableau 1 *b* présente les résultats obtenus avec le mouillant tween 80 et l'huile minérale PO_7 associés aux deux concentrations de colchicine déjà utilisées.

La présence de ces deux adjuvants entraîne une diminution du pourcentage de repousse des yeux traités par comparaison à l'essai précédent. Cette mortalité supérieure peut être due à une meilleure pénétration de la colchicine qui augmenterait sa phytotoxicité. Cette diminution de la repousse est significativement plus élevée avec la concentration de colchicine 1 p. 100. Des deux adjuvants essayés, le tween 80 est celui qui entraîne la plus forte mortalité en association avec la colchicine.

L'efficacité du doublement, mesurée par le pourcentage de plantes avec des repousses tétraploïdes, est améliorée par l'emploi des deux adjuvants à dose égale de colchicine, par comparaison à l'essai précédent. Cependant les nombres de pousses présentant des secteurs doublés ne diffèrent pas significativement selon les concentrations de colchicine ou les adjuvants utilisés.

Enfin si l'on se reporte au pourcentage de plantes ayant au moins une repousse avec un secteur doublé par rapport au nombre de plantes traitées, on remarque la nette supériorité de l'association 0,5 p. 100 — huile minérale. Ce taux de tétraploïdisation de 46 p. 100 des plantes traitées diffère significativement de l'ensemble des trois autres traitements ($\chi^2 = 32{,}758$, d.d.l. 1, Prob. $< 0{,}001$).

II. — CORRÉLATION ENTRE LES CARACTÈRES DES DIPLOÏDES ET DES TÉTRAPLOÏDES

Les traitements à la colchicine, s'ils ne présentent pas de difficultés majeures nécessitent la manipulation d'une quantité importante de matériel. De plus, peu d'observations peuvent être faites sur le matériel chimérique hétérogène (C_0), les premières n'étant valablement réalisées qu'à partir de la génération suivante (C_1). Ces raisons nous ont conduit à rechercher des corrélations entre les caractères des diploïdes et des tétraploïdes correspondants. Ainsi une sélection pourrait être faite au niveau diploïde pour ne doubler que les types retenus.

Matériel et méthode

Une étude portant sur douze couples diploïde-tétraploïde correspondant a été réalisée sous serre. Le matériel utilisé comprenait le cultivar « Golden Gopher », et onze lignées de type Cantaloup Charentais dont six résistantes à *Fusarium oxysporum* race 1, deux aux races 1 et 2, une résistante à l'Oïdium et un type « Charentais monoïque ».

Le dispositif expérimental était un essai Bloc comportant 5 répétitions d'une plante. Les plantes étaient palissées pour faciliter les observations. Un système de notation de 0 à 5 a été utilisé pour les caractères du fruit difficilement mesurables comme l'importance des attaches pistillaires et pédonculaires, l'intensité de la coloration et la fermeté de la chair.

Résultats

Caractères en végétation.

Les résultats des mesures effectuées quarante jours après le semis, figurant au tableau 2, font apparaître une croissance plus lente du matériel tétraploïde. Ce retard se traduit par une plus faible hauteur des plantes due à un nombre de nœuds inférieur à celui des diploïdes. On observe un coefficient de corrélation de 0,582 entre la hauteur des plantes des lignées diploïdes et des tétraploïdes correspondants.

TABLEAU 2

Liaisons entre les caractères de 12 couples diploïdes-tétraploïdes correspondants

	Diploïdes		Tétraploïdes		Coefficient de corrélation pour 10 d.d.l. r 0,05 = 0,576 r 0,01 = 0,708
	Moy.	*sm*	Moy.	*sm*	
Hauteur des plantes 40 jours après le semis en cm	74,1	2,72	58,4	2,41	0,582 S
Nombre de nœuds 40 jours après le semis	11,4	0,31	9,5	0,28	0,479 NS
Hauteur / Diamètre de l'ovaire	1,42	0,06	1,01	0,04	0,843 S
Hauteur / Diamètre transversal du fruit	1,03	0,05	0,86	0,02	0,951 HS
Poids moyen du fruit en grammes (à maturité)	728,7	51,57	445,4	54,21	0,733 HS
Importance de l'attache pédonculaire (*)	1,6	0,17	3,1	0,19	0,002 NS
Importance de l'attache pistillaire (*)	1,6	0,19	3,5	0,21	0,792 HS
Teneur en matière sèche soluble (**)	12,7	0,67	13,9	0,59	0,077 NS
Intensité de coloration de la chair (***)	1,9	0,19	2,9	0,31	0,089 NS
Fermeté (****)	1,8	0,23	3,2	0,23	0,083 NS

Moy. : moyenne.
sm : erreur-type de la moyenne.
* : notée de 0 à 5 : 0 : attache punctiforme 5 : attache très importante
** : mesurée au réfractomètre
*** : notée de 0 à 5 : 0 : peu colorée 5 : très colorée
**** : notée de 0 à 5 : 0 : chair molle 5 : très ferme.

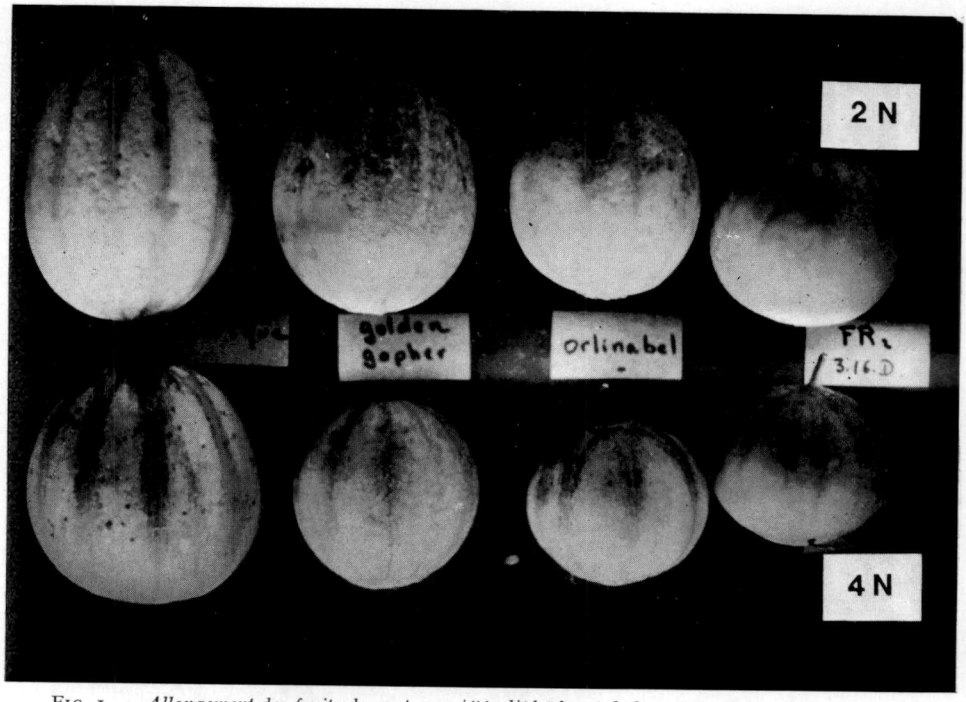


FIG. 1. — *Allongement des fruits de quatre variétés diploïdes et de leurs tétraploïdes correspondants*

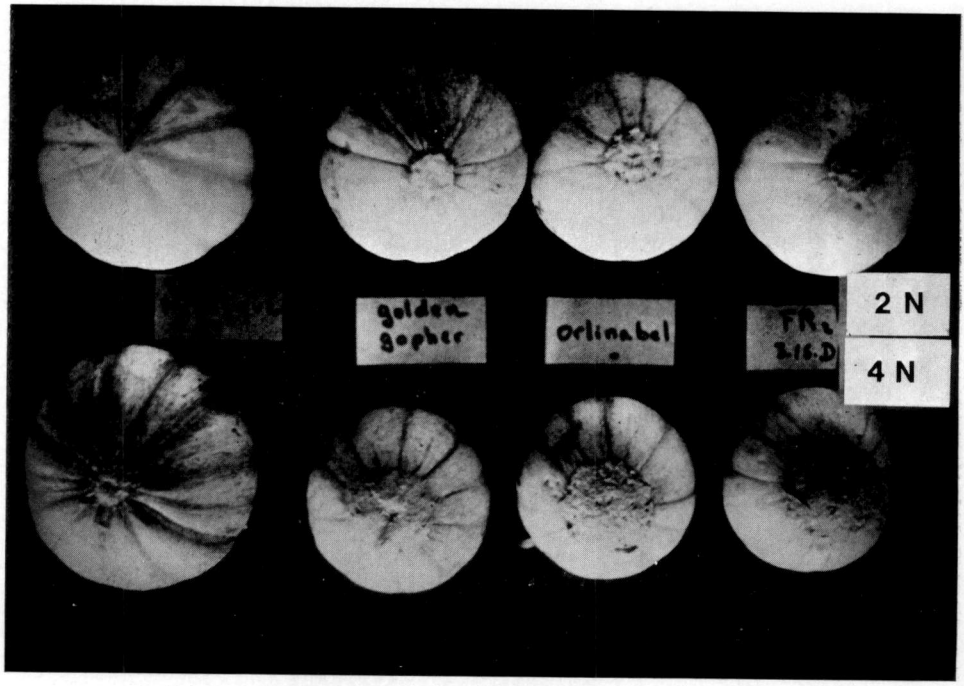


FIG. 2. — *Importance de l'attache pistillaire de quatre variétés diploïdes et de leurs tétraploïdes correspondants*

Le tétraploïde obtenu par doublement de la lignée résistante à l'Oïdium présente une nécrose du feuillage (Crown-blight) beaucoup plus importante que chez le diploïde. On peut ajouter aussi que l'état tétraploïde ne modifie pas l'expression du sexe ni celle des gènes de résistance au Fusarium races 1 et 2 et à l'Oïdium.

Caractères extérieurs du fruit.

Le fruit des melons tétraploïdes est généralement plus petit, plus aplati, à attaches pistillaires et pédonculaires plus importantes que les diploïdes correspondants (fig. 1 et 2). Le tableau 2 présente les valeurs moyennes de ces caractères pour les deux groupes et leurs coefficients de corrélation.

On note, dans l'ensemble, une certaine similitude de conformation entre les fruits diploïdes et les fruits tétraploïdes correspondants. On observe des coefficients de corrélation significatifs pour le poids moyen du fruit ($r = 0{,}733$), l'allongement (rapport hauteur/diamètre transversal : $r = 0{,}951$) et l'importance de l'attache pistillaire ($r = 0{,}792$).

Ainsi le doublement de la lignée de Charentais monoïque à gros fruits (1 070 g) de forme oblongue (hauteur/diamètre transversal = 1,40) à attache pistillaire punctiforme (note 0,5) donne un tétraploïde à fruits de 880 g, presque ronds (h/d = 1,02) et à attache pistillaire peu importante (note 2).

Il existe chez les variétés diploïdes une corrélation entre l'allongement de l'ovaire et du fruit, dans cet essai le coefficient de corrélation est de 0,940. On retrouve cette même liaison au niveau tétraploïde avec un coefficient de corrélation de 0,761. Tous deux sont significatifs au seuil 1 p. 100.

On observe un coefficient de corrélation de 0,843 pour le caractère allongement de l'ovaire entre les diploïdes et les tétraploïdes.

Caractères de la chair.

Les résultats figurant au tableau 2 montrent un effet favorable de l'état tétraploïde sur les caractères de chair observés : intensité de la coloration, fermeté, teneur en matière sèche soluble.

Chez neuf des douze lignées tétraploïdes l'épaisseur de la chair est supérieure ou au moins égale à la moitié du rayon transversal. Une seule des lignées diploïdes à l'essai a présenté cette caractéristique.

Aucune corrélation n'a pu être mise en évidence entre les diploïdes et les tétraploïdes pour les caractères de la chair mesurés. Il faut souligner les difficultés pratiques d'une appréciation objective de ces caractères : notamment à cause de l'évolution rapide des fruits ; excepté la teneur en matière sèche soluble et l'épaisseur que l'on peut mesurer facilement, les autres critères (fermeté, coloration, saveur) ont été appréciés subjectivement.

Bien qu'aucune mesure systématique de la durée de conservation n'ait été effectuée dans cet essai, la plus grande fermeté de chair des tétraploïdes semble liée à une bien meilleure conservation. En particulier, chez les tétraploïdes on observe beaucoup moins souvent une zone de fermentation autour de la cavité centrale du fruit.

Fente et éclatement des fruits.

Ces qualités de chair intéressantes sont souvent associées à un défaut important : la tendance de l'écorce des fruits tétraploïdes à fendre ou même à éclater. Actuelle-

ment aucune des lignées tétraploïdes de bonne saveur n'est exempte de ce défaut. Une étude plus approfondie doit être entreprise pour rechercher ses origines et sa liaison éventuelle avec certains caractères d'écorce ou de chair.

D'autre part, l'amélioration de certaines techniques culturales, taille et irrigation au moment de la maturation des fruits, pourraient peut-être permettre d'atténuer ce défaut.

III. — FERTILITÉ DES TÉTRAPLOÏDES

Des observations ont été réalisées sur la fertilité des tétraploïdes, ce point conditionnant en grande partie la suite du programme. En effet, la fertilité du matériel tétraploïde doit être suffisante pour que le prix des semences ne soit pas le premier facteur limitant leur utilisation. D'autre part, les études sur les triploïdes restent évidemment liées au problème d'obtention des semences dans les croisements entre les diploïdes et les tétraploïdes.

Matériel et méthode

La fertilité des tétraploïdes, après autofécondation et après croisement par du pollen des diploïdes correspondants a été comparée dans un essai mis en place sous serre (plantation début juillet 1970). Le croisement réciproque diploïde par tétraploïde n'a pas été réalisé dans cet essai, car il ne donne que des graines sans embryon. Les plantes ont été palissées pour faciliter les opérations de pollinisation manuelle. L'essai a porté sur quatre tétraploïdes en C_2 (deuxième génération après le doublement) : « Cantol » « Charbef », « Doucol », « Vacol ». Les graines obtenues ont été classées en deux catégories : celles possédant un embryon développé et celles composées uniquement des téguments sans embryon.

Des observations complémentaires en microscopie de fluorescence ont été effectuées en 1973. Les tétraploïdes de l'essai précédent, choisis pour leur valeur agronomique, étant de type andromonoïque nous avons préféré utiliser pour les études microscopiques un type Charentais monoïque. Ainsi on évite la castration des fleurs hermaphrodites ce qui facilite la réalisation des croisements. La technique de coloration de MARTIN (1958) a été utilisée : fixation des fleurs dans le FAA pendant 24 heures, macération dans la soude 8 N pendant 16 heures, coloration par le bleu d'aniline (MERCK, 1275). Les observations ont été réalisées avec un microscope Leitz équipé d'un brûleur à vapeur de mercure, avec les filtres d'excitation UG 1 et 5.

Résultats

Nombre de graines par fruit.

Le pourcentage de semences possédant un embryon obtenu après pollinisation par du pollen de variétés diploïdes est significativement inférieur à celui obtenu avec l'autopollen (tabl. 3). Même avec l'autopollen ce pourcentage reste faible, 13 p. 100 ce qui représente par fruit 41 graines ayant un embryon. Ce pourcentage est de 89 p. 100 chez les témoins diploïdes autofécondés, ce qui correspond par fruit à 540 graines ayant un embryon.

Le nombre de graines par fruit ayant un embryon varie significativement entre les tétraploïdes à l'essai : 33 pour « Doucol », 34 pour « Cantol », 48 pour « Charbef », 74 pour « Vacol ».

D'après nos premières observations la fertilité semble s'améliorer sensiblement au cours des générations : ainsi pour la lignée « Cantol » le nombre de graines par fruit ayant un embryon est de l'ordre de 100 en C_3, et dépasse fréquemment 150 en C_5. Une étude est en cours pour préciser ce point.

On observe chez les tétraploïdes un coefficient de corrélation de 0,968, significatif au seuil 1 p. 100, entre les nombres de graines par fruit ayant un embryon d'une part après l'autofécondation et d'autre part, après le croisement par du pollen de diploïdes.

TABLEAU 3

Comparaison des semences obtenues en pollinisant 4 variétés tétraploïdes par du pollen des variétés diploïdes ou par l'autopollen

	Nombre de fruits observés	Nombre graines avec un embryon développé	Nombre graines sans embryon	Pourcentage de graines avec un embryon	χ^2 d'homogénéité	Degrés de liberté	Probabilité
Tétraploïde × diploïde	63	878	10 842	7,5	170,9	3	< 0,001
Tétraploïde autofécondé	48	1 981	13 312	13,0	220,3	3	< 0,001

Germination des semences obtenues.

Le taux de germination des semences obtenues dans les croisements tétraploïde par diploïde est extrêmement faible, 0,5 p. 100 environ. Les semences qui ont germé ont toutes donné des plantes triploïdes.

Les embryons observés dans ces graines n'occupent pas la totalité du volume des téguments et un fort pourcentage semble mal développé, ce qui expliquerait le faible pourcentage de germination.

L'autofécondation des tétraploïdes donne des semences qui germent à des taux comparables à ceux des diploïdes.

Observations en fluorescence.

Les observations en fluorescence de fleurs pollinisées permettent de suivre la germination du pollen sur les papilles stigmatiques et la croissance des tubes polliniques jusqu'au sac embryonnaire. L'étude a porté sur des fleurs diploïdes ou tétraploïdes pollinisées par l'autopollen ainsi que sur les croisements tétraploïde-diploïde dans les deux sens.

Ces observations ont permis de préciser certains points :

— la germination du pollen sur les papilles stigmatiques paraît normale dans les quatre cas ;

— la croissance des tubes polliniques diploïdes (pollen de tétraploïde) est moins rapide que celle des tubes haploïdes quel que soit le niveau de ploïdie de la fleur femelle. Les mesures de la longueur des tubes polliniques étant difficiles après l'écrasement des styles nous avons choisi trois points de repère A, B, C, dans le style et l'ovaire. Ces repères figurent sur le schéma ci-après ;

— ainsi sur une fleur femelle tétraploïde (à 25°C) :

- 24 heures après la pollinisation les tubes polliniques diploïdes ont atteint le niveau A et les tubes polliniques haploïdes le niveau B ;
- 32 heures après la pollinisation les tubes diploïdes ont atteint le niveau B et les tubes haploïdes le niveau C et pénétrés dans près de 50 p. 100 des ovules ;
- 48 heures après la pollinisation près de 100 p. 100 des ovules sont fécondés dans les deux cas, comme chez le diploïde autofécondé ;

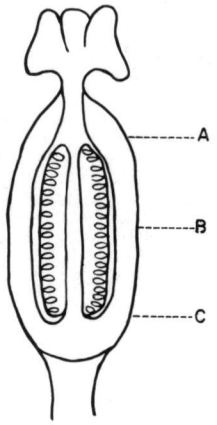


SCHÉMA. — *Coupe schématique d'une fleur femelle de Melon*
Le niveau A correspond à l'extrémité supérieure de la cavité ovarienne ; le niveau B à la partie médiane et le niveau C à l'extrémité inférieure.

— dans le cas de la pollinisation des fleurs diploïdes par du pollen de tétraploïdes quelques anomalies ont été constatées :

- si jusqu'au niveau B la croissance des tubes polliniques diploïdes est identique à celle observée sur les fleurs tétraploïdes, par la suite peu de tubes atteignent la base de l'ovaire (niveau C) ;
- 48 heures après la pollinisation seul un faible pourcentage des ovules sont fécondés (de 10 à 50 p. 100 selon les fleurs) ;
- les tubes polliniques semblent avoir quelques difficultés pour pénétrer dans le micropyle car ils sont enroulés plusieurs fois sur eux-mêmes. Dans le canal micropylaire et le nucelle, les tubes présentent souvent une forme anormale comme le montre la figure 4.

La moindre fertilité observée chez les tétraploïdes n'est donc pas liée à des anomalies de germination du pollen ou de croissance des tubes polliniques. Les quelques anomalies observées dans le croisement des diploïdes par du pollen de tétraploïde ne suffisent pas à expliquer l'absence totale de semences possédant un embryon.

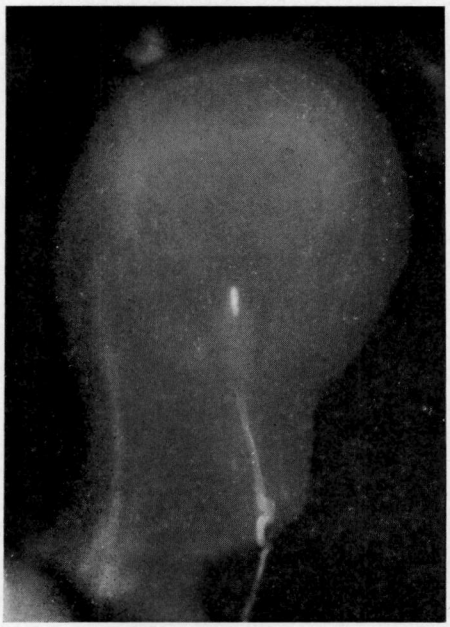


FIG. 3. — *Tétraploïde autofécondé. 38 heures après la pollinisation : tube pollinique dans le canal micropylaire.*

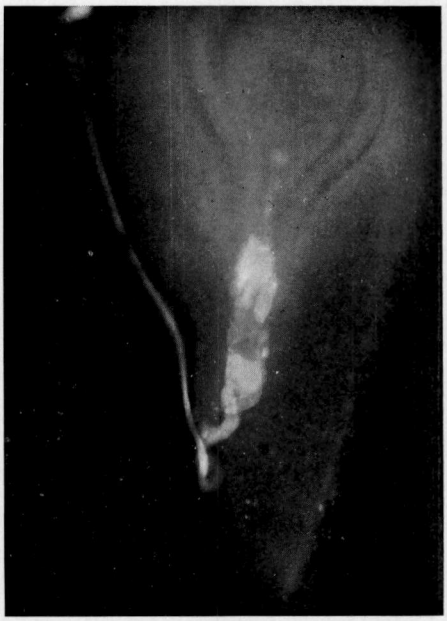


FIG. 4. — *Diploïde × tétraploïde. Tube pollinique diploïde enroulé sur lui-même au micropyle et d'aspect anormal dans le canal micropylaire et le nucelle* (48 heures après la pollinisation).

IV. — VALEUR AGRONOMIQUE DES TÉTRAPLOÏDES

Ce dernier paragraphe a pour but principal de situer les performances des premiers tétraploïdes obtenus et intéressants pour divers caractères, par rapport à des variétés diploïdes connues.

Matériel et méthode

Trois essais ont été réalisés :

— A : Essai conduit sous serre chauffée ; culture palissée à une branche ; plantation de début février 1973 ; dispositif bloc 3 × 3 plantes par variété.

— B : Essai conduit sous serre plastique non chauffée ; culture palissée à une branche ; plantation début mai 1972 ; dispositif bloc 3 × 6 plantes par variété.

— C : Essai conduit sous serre plastique non chauffée ; culture à plat sur deux branches ; plantation début juillet 1973 ; dispositif bloc 4 × 5 plantes par variété. Malgré la plantation tardive l'essai a été placé sous serre tunnel plastique pour limiter les dégâts causés par le Virus 1 du Concombre.

Les facteurs du rendement analysés sont le poids total et le nombre de fruits récoltés par plante avec en corollaire le poids moyen du fruit. La précocité a été mesurée par le nombre de jours de retard entre la récolte du premier fruit tétraploïde et celui du témoin diploïde.

TABLEAU 4. — *Rendements de quelques tétraploïdes sous 3 conditions de culture et comparaison à un témoin diploïde*

Essai A					Essai B					Essai C				
Variétés	(1) Rdt	(2) N.F.	(3) P.M.	(4) N.j	Variétés	(1) Rdt	(2) N.F.	(3) P.M.	(4) N.j	Variétés	(1) Rdt	(2) N.F.	(3) P.M.	(4) N.j
2n « Doublon »	1,560^a	2,9^a	0,540	0	*2n* « Doublon »	1,950^a	2,3^b	0,830	0	*2n* « Printadou »	4,900^a	6,7^a	0,730	0
4n « Cantol »	1,290^a	3,0^a	0,430	+ 7	*4n* « Cantol »	1,540^b	3,6^a	0,420	+ 5	*4n* « Cantol »	2,900^b	6,4^a	0,460	0
4n « Pill Zucker »	2,120^a	3,3^a	0,640	+ 11	*4n* « Charbef »	1,150^c	2,5^b	0,460	+ 5	*4n* (G-FR$_2$)	3,200^b	5,3^a	0,605	+ 1
4n (P-FR.)	1,790^a	3,2^a	0,550	+ 10										

(1) Rdt : Rendement (exprimé en kg) récolté par plante.
(2) N.F. : Nombre de fruits récoltés par plante.
(3) P.M. : Poids moyen des fruits en kg.
(4) N.j : Nombre de jours séparant la récolte du 1er fruit tétraploïde par rapport à celle du 1er fruit du témoin diploïde.
Les lettres différentes indiquent des différences significatives au seuil 5 p. 100 selon le test de Duncan.

TABLEAU 5. — *Teneur en matière sèche soluble* (mesurée au réfractomètre) *des fruits de quelques tétraploïdes sous 3 conditions de culture et comparaison à des témoins diploïdes*

Essai A				Essai B				Essai C			
Variétés	(1) Moy.	(2) Limites des moyennes	(3) *s*	Variétés	(1) Moy.	(2) Limites des moyennes	(3) *s*	Variétés	(1) Moy.	(2) Limites des moyennes	(3) *s*
2n « Doublon »	10,9	10,3-11,4	1,19	*2n* « Doublon »	13,7	13,4-14,1	1,44	*2n* « Printadou »	12,5	12,1-12,9	1,11
4n « Cantol »	14,4	13,9-14,8	1,07	*4n* « Cantol »	13,8	13,4-14,1	1,20	*4n* « Cantol »	13,9	13,3-14,5	1,75
4n « Pill Zucker »	12,6	12,1-13,0	0,91	*4n* « Charbef »	15,2	14,9-15,6	0,88	*4n* (G-FR$_2$)	13,1	12,7-13,6	1,31
4n (P-FR)	15,4	14,8-15,9	1,13								

(1) : Moyenne.
(2) : Limites de l'intervalle de confiance des moyennes au seuil 5 p. 100.
(3) : Écart-type des valeurs observées (*s*).

Résultats

Rendement et précocité.

Les résultats de ces trois essais sont présentés au tableau 4. Dans l'essai A aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les quatre variétés à l'essai. La variété « Pillnitzer Zucker » qui donne le plus fort rendement est la plus tardive. Les trois tétraploïdes de cet essai accusent un retard d'au moins une semaine sur la variété diploïde témoin pour la récolte du premier fruit.

Dans les essais B et C les rendements des tétraploïdes sont toujours significativement inférieurs à ceux des témoins diploïdes : plus l'essai est planté tard, plus les écarts de rendement sont importants. Ces écarts de rendements ne sont pas dus à une mauvaise nouaison ou fructification, le nombre de fruits récoltés étant égal ou supérieur à celui des témoins diploïdes, mais à un poids moyen du fruit inférieur.

Les écarts de précocité, importants pour la plantation la plus précoce, diminuent avec les plantations les plus tardives. Ainsi pour la variété tétraploïde « Cantol » le retard de 7 jours dans l'essai A, passe à 5 jours dans l'essai B pour s'annuler dans l'essai C.

La vigueur peu importante des tétraploïdes observés dans ces trois essais, si elle permet d'alléger les opérations de taille en cours de végétation, a sans doute pour conséquence principale la baisse de rendement ; au niveau diploïde il existe en effet une relation entre l'importance du feuillage et le rendement ; la lignée tétraploïde « Pillnitzer Zucker » qui donne le plus fort rendement est aussi la plus vigoureuse. La recherche de lignées tétraploïdes plus vigoureuses et moins tardives a donc été entreprise.

Teneur en sucre.

La teneur en sucre, seul facteur de la saveur facilement mesurable a été étudiée sur tous les fruits récoltés grâce à une mesure de la teneur en matière sèche soluble, à l'aide d'un réfractomètre.

Les résultats figurant au tableau 5 montrent que la valeur de l'indice réfractométrique des lignées tétraploïdes est toujours supérieure à celle du témoin diploïde dans les trois essais. Les écarts les plus importants se trouvent dans l'essai A, le plus précoce.

Deux lignées tétraploïdes ressortent plus particulièrement, « P-FR » dans l'essai A et « Charbef » dans l'essai B avec des valeurs de l'indice réfractométrique supérieures à 15. Les fruits de ces deux lots ont une tendance à fendre.

Dans les essais A et B les valeurs des écart-types sont inférieures à celle du témoin diploïde « Doublon » malgré des moyennes plus élevées. Cela traduit une plus grande régularité de la saveur des tétraploïdes au cours de la récolte, avantage également très appréciable.

En conditions de culture, les tétraploïdes ont donc confirmé leur supériorité quant à leur teneur en sucre.

CONCLUSIONS

Il serait prématuré de tirer de ces essais une conclusion définitive sur l'intérêt pratique de la polyploïdie pour l'amélioration du Melon. Cependant les observations effectuées permettent de retenir quelques faits intéressants :

— le doublement chromosomique chez le Melon ne pose pas de problèmes techniques importants. Le tri des secteurs tétraploïdes est relativement aisé par observation microscopique du pollen, on peut donc envisager le doublement d'un matériel végétal abondant ;

— une sélection efficace peut être effectuée au niveau diploïde pour des caractères extérieurs du fruit : allongement, poids moyen, importance de l'attache pistillaire, et le doublement limité aux types retenus. Par contre, aucune liaison n'a pu être mise en évidence entre les diploïdes et les tétraploïdes pour les caractères de chair observés ;

— la nouaison et la fructification ne sont pas affectées par l'état tétraploïde. Le nombre de graines par fruit possédant un embryon obtenu après l'autofécondation des tétraploïdes se situe à un niveau très inférieur à celui des diploïdes (presque dix fois moindre en C_2). Cependant cette fertilité semble s'améliorer au cours des générations qui suivent le doublement ;

— aucune anomalie dans la germination du pollen et la croissance des tubes polliniques n'a été observée chez les tétraploïdes pollinisés par l'autopollen ou croisés par le pollen de diploïdes, la diminution de fertilité a donc une autre origine (sans doute au niveau du gamète femelle) ;

— l'obtention des triploïdes semble pour l'instant très difficile, car les semences récoltées dans les croisements tétraploïde par diploïde ont un taux de germination pratiquement nul. Aucune semence avec un embryon développé n'a été obtenu en pollinisant un diploïde par du pollen de tétraploïde ;

— les premiers essais en conditions de culture ont confirmé les intéressantes qualités de chair des tétraploïdes. Cependant leur utilisation pratique reste encore liée à l'élimination de défauts importants comme la baisse des rendements, la tardiveté ou la tendance de l'écorce des fruits à fendre. Pour essayer de contourner les difficultés deux voies peuvent être envisagées :

- continuer la recherche de tétraploïdes de bonne saveur et ne présentant pas les défauts généralement observés, en doublant d'autres lignées diploïdes ;
- essayer de corriger certains défauts par des techniques culturales plus adaptées au matériel tétraploïde (taille, irrigation, greffage sur porte-greffe résistants aux principales maladies et conférant de la vigueur).

Reçu pour publication en mai 1974.

SUMMARY

THE POSSIBILITY OF USING POLYPLOIDY IN MUSKMELON BREEDING (*CUCUMIS MELO* L.)

Studies on induced polyploids of Muskmelon have been undertaken to improve the flesh qualities, mainly in the Cantaloup Charentais type.

— The tetraploid fruits have better flesh qualities than those of corresponding diploids : thicker, firmer, deeper in colour, higher level of sugar and better keeping life. But the tetraploids have also some inconvenients : lateness, lower yields, cracking tendancy of the fruits.

— Tetraploids are easily obtained by treating the cotyledonary growing points of young seedlings with an aqueous solution of colchicine, the most effective concentration being 5 p. 1000. Best results are obtained by adding a mineral oil (1 p. 100).

— Correlations have been drawn up between diploids and corresponding tetraploids for some fruit characters : weight, fruit shape, size of the pistillar mark. It seems possible to carry out a selection at the diploid level for these characters.

— Some observations by means of fluorescence have been undertaken on pollinated flowers of tetraploids. Neither the pollen germination nor the pollen tube growth can explain the low number of seeds with an embryo per fruit in selfed tetraploids. Crosses between diploids and tetraploids have also been studied. These observations could not explain the low rate of triploid seeds found in one direction of the cross and their absence in the other direction. A very poor germination is encountered among triploid seeds (about 1 p. 100).

— Some tetraploid lines and diploid varieties have been compared in three trials (three dates of plantation under greenhouse). The yields of the tetraploid lines were always lower than those of diploid varieties but their flesh qualities were much better (level of sugar), mainly in the earliest trial.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BATRA S., 1952. Induced tetraploidy in muskmelons. *J. Hered.*, **63**, 141-148.

DUMAS de VAULX R., 1970. Mise au point d'une méthode de dénombrement des chromosomes chez le Melon (*Cucumis melo* L.). *Ann. Amélior. Plant.*, **20**, 3, 375-378.

KUBICKI B., 1962. Polyploidy in muskmelons (*Cucumis melo* L.) and cucumbers (*Cucumis sativus* L.). *Genet. pol.*, **3**, 162-179.

MARTIN F. W., 1958. Staining and observing pollen tubes in the styles by means of fluorescence. *Stain Technol.*, **34**, 125-128.

SHIFRISS O., 1942. Polyploids in the genus *Cucumis*. *J. Hered.*, **33**, 144-152.

UCHIKAWA I., 1952. Karyological studies of Cucurbitacea. II. Cytogenetic studies of japanese melon, *Cucumis melo* L. var. Makuwa Makino and its tetraploids induced by colchicine. *Memoirs of the Ehime University Sect II (Science,)* **1**, 3, 1-10.

WHITAKER T. W., DAVIS G. N., 1962. *Cucurbits*. 1-250, Interscience Publishers Inc., New York.

Ann. Amélior. Plantes, 1974, **24** (4), 405-414.

ÉTUDE DES POSSIBILITÉS DE PRODUCTION D'HYBRIDES F_1 INTRA- ET INTERSPÉCIFIQUES CHEZ LE SOUS-GENRE *AMYGDALUS*

II. — Combinaisons réciproques : *Prunus amygdalus* et *Prunus persica*

Ch. GRASSELLY et H. DAMAVANDY-KOZAKONANE*

Station de Recherches d'Arboriculture fruitière,
Centre de Recherches de Bordeaux, I. N. R. A.,
33140 Pont de la Maye

* *Faculté d'Agronomie de Tabriz (Iran)*

RÉSUMÉ

Des essais de croisements interspécifiques entre *P. amygdalus* et *P. persica* ont été réalisés de 1957 à 1970 afin d'étudier les possibilités de production de semences hybrides F_1 pouvant être utilisées comme sources de porte-greffes.

Les nombreux croisements ayant *P. amygdalus* comme parent femelle n'ont pas donné les résultats escomptés en raison d'une part du très faible pourcentage de fécondation obtenu lors des pollinisations et d'autre part du manque d'aptitude à la germination des semences hybrides.

Les croisements réalisés avec *P. persica* utilisé comme parent femelle n'ont pas donné de meilleurs résultats en ce qui concerne le taux de fécondation.

INTRODUCTION

Les hybrides naturels entre les espèces Pêcher (*Prunus persica*) et Amandier (*Prunus amygdalus*) ont fait l'objet, depuis de longues années, de recherches en vue de leur utilisation comme porte-greffes (R. Bernhard, 1949 ; R. Bernhard, 1965 ; Ch. Grasselly, 1956). Ces hybrides, outre leur grande vigueur, présentent une bonne résistance à la chlorose.

De meilleures possibilités de multiplication végétative que celles enregistrées chez les espèces parentales ont été sélectionnées chez certains hybrides F_1, ce qui a permis de développer leur utilisation comme porte-greffes. Cependant, cette aptitude à la multiplication végétative reste souvent insuffisante et nécessite des techniques onéreuses de multiplication.

Des recherches dans plusieurs directions ont été entreprises à la Station de Recherches d'Arboriculture fruitière de Bordeaux, pour essayer de produire, par voie sexuée, des lots suffisamment homogènes d'hybrides interspécifiques entre *P. persica* et *P. amygdalus*. Dans le cadre de ces recherches, nous avons étudié la possibilité de produire des semences hybrides F_1 dans les croisements réciproques entre Amandier et Pêcher.

Cette production de semences et de plants hybrides F_1 présenterait par rapport à la multiplication végétative utilisée couramment plusieurs avantages : d'une part une simplification des techniques de multiplication et d'autre part une diminution des risques de contamination par des maladies à virus.

La réussite de cette production de semences hybrides était envisagée avec d'autant plus d'optimisme que l'étude des collections de variétés d'Amandier avait permis de déceler des cultivars dont l'époque de floraison coïncidait avec celle du Pêcher. En effet, le nombre relativement faible d'hybrides naturels entre les deux espèces pouvait être la conséquence du décalage dans le temps de leur floraison réciproque. D'une part, l'allogamie générale de l'espèce Amandier permettait d'envisager une pollinisation croisée dont les abeilles auraient pu être les agents, d'autre part, la stérilité mâle de quelques variétés de Pêcher permettait également d'entrevoir la possibilité de croisements facilement réalisables.

Les études de croisements ont été poursuivies de 1957 à 1970.

Deux grands groupes de croisements seront examinés :

1. Croisements avec *P. amygdalus* comme parent femelle.
2. Croisements avec *P. persica* comme parent femelle.

Nous étudierons successivement la production de semences hybrides F_1, leur aptitude à la germination, l'aspect et la vigueur des jeunes plants hybrides obtenus.

I. — *PRUNUS AMYGDALUS* UTILISÉ COMME PARENT FEMELLE

Matériel et méthodes

Quand les variétés choisies comme parent femelle appartiennent à une espèce allogame, telle que l'Amandier, ou sont mâles stériles comme certaines variétés de Pêcher utilisées, les pollinisations sont faites sous cage d'isolement sans castration. Ces cages, en plastique armé, sont placées sur l'arbre à polliniser avant l'ouverture des fleurs. Le pollen, préparé à l'avance et conservé en tubes, est apporté sur les fleurs à l'aide de pinceaux.

Après la récolte des fruits, et leur dénoyautage, les graines sont mises à sécher puis à stratifier dans du sable ou de la perlite pendant 100 à 110 jours à 4°C avant d'être semées en pépinière.

Les variétés d'Amandier à floraison précoce :

« Desmayo largueta » (R. 308), originaire d'Espagne,
« Marcona » (R. 185), originaire d'Espagne,
« Ardéchoise » (R. 61), originaire de Provence,

on été croisées avec les variétés de Pêcher à floraison précoce :

« Shalil » (S. 1365), lignée à chair jaune, noyau adhérent, résistante aux nématodes, originaire du Pakistan ;
« Yunnan » (S. 2532), lignée à chair blanche, noyau libre, résistante aux nématodes, originaire de Chine ;
« Pourprée de St-Genis Laval » (S. 1847), variété à chair blanche, noyau libre, feuillage pourpre, variété française ;

et avec deux types de *Prunus davidiana* (S. 693 et P. 1903) et un de *Prunus kansuensis* (S. 1490).

Les variétés d'Amandier à floraison plus tardive :

« Aï » (R. 181), France,
« Cristomorto » (R. 210), Italie, (fig. 1),
« Texas » (R. 270), États-Unis,

et un semis d'Amandier, Am. 21 (Grande Ferrade) ont été croisés avec différents types de Pêcher :

« GF 305 », France, lignée à chair blanche, noyau libre, sélection de porte-greffe (Grande Ferrade),
« Pourprée de St-Genis Laval » (S. 1847), déjà citée,
« S. 278-4 », lignée à chair blanche et à noyau libre, originaire de Suisse,
« Midelt » (S. 2493), lignée à chair blanche et noyau libre, originaire du Maroc.
« New Red Peach » (S. 2145), lignée à chair blanche, noyau libre et feuillage pourpre, originaire des États-Unis,
« Shalil » (S. 1365), déjà citée,
« S. 2468 », ligne de type « honey » à chair blanche et noyau libre, originaire du Laos,
« Peento » (S. 2092), pêcher à fruits plats, originaire de Chine,
« Hey Hsien » (S. 2329), pêcher à fruits très durs et à maturité très tardive consommés en hiver, originaire de Chine,
« Yunnan » (S. 2532), déjà citée.

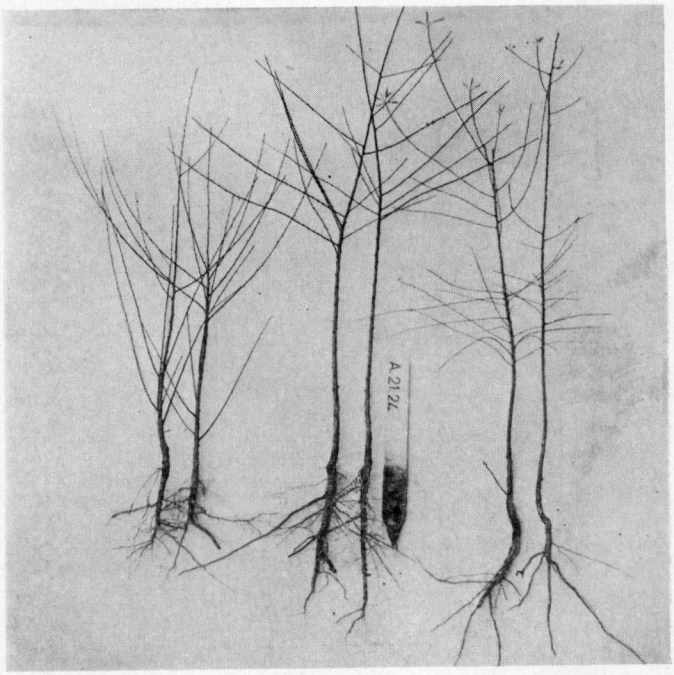


FIG. 1. — A gauche : *semis de* P. persica, *variété « GF 305 »*
A droite : *semis d'Amandier, variété « Cristomorto »*
Au centre : *semis d'hybride F_1 entre les deux variétés*

Ces pêchers ont été choisis en fonction de leurs origines botaniques très diverses, du caractère particulier de certains d'entre eux comme la résistance aux nématodes (« Shalil ») ou la coloration pourpre du feuillage (« Pourprée de St-Genis Laval ») ainsi que pour leur homozygotie.

De plus, quelques essais de pollinisation avec des mélanges de pollen ont été tentés en utilisant des techniques de « marquage » permettant de retrouver l'origine exacte des hybrides dans la descendance.

Ces mélanges étaient les suivants :

Mélange 1 : pollen des deux pêchers ; S. 1847 (à feuilles pourpres) et « GF 305 ». Dans ce mélange, S. 1847 transmet la coloration pourpre de son feuillage (caractère dominant) lors des croisements.

TABLEAU I

Croisements réalisés avec Prunus amygdalus *comme parent femelle*

P. amygdalus variétés pollinisées	Pollinisateurs	Année	Nbre de fleurs pollinis.	Nbre de fruits récoltés	Taux de féconda-tion
	1. — *Amandiers à floraison précoce*				
« Ardéchoise »	*P. persica* var. « Pourprée de St-Genis Laval »	1959	317	0	0
	P. persica var. « Pourprée de St-Genis Laval »	1960	320	25	7,8
	P. persica var. « Shalil »	1959	328	0	0
	P. persica var. « Shalil »	1960	595	27	4
	P. persica var. « Yunnan »	1960	271	32	11,8
	P. davidiana (S. 693)	1960	386	81	22,1
	P. davidiana (P. 1903)	1962	3 200	0	0
	P. davidiana (P. 1903)	1963	2 000	10	0,5
	P. kansuensis	1960	149	0	0
« Desmayo largueta »	*P. davidiana* (S. 693)	1961	142	20	14,0
	P. kansuensis	1961	18	0	0
« Marcona »	*P. davidiana* (P. 1903)	1962	1 047	125	11,9
	2. — *Amandiers à floraison tardive*				
« Aï »	*P. persica* var. « Pourprée de St-Genis Laval »	1959	450	0	0
	P. persica var. « Pourprée de St-Genis Laval »	1960	122	3	2,4
	P. persica var. « Shalil »	1959	370	0	0
	P. persica var. « Shalil »	1960	67	0	0
	P. persica var. « Yunnan »	1960	151	8	5,3
	P. persica var. « Peento »	1961	101	0	0
	P. persica var. « du Laos »	1960	110	2	1,8
« Cristomorto »	*P. persica* var. « Pourprée de St-Genis Laval »	1960	249	0	0
	P. persica var. « Pourprée de St-Genis Laval »	1961	201	14	6,9
	P. persica var. « Shalil »	1960	257	0	0
	P. persica var. « Yunnan »	1960	156	0	0
	P. persica var. « Yunnan »	1961	412	14	3,4
	P. persica var. « Midelt »	1963	106	0	0
	P. persica var. « New Red Peach »	1963	588	6	1,0
	P. persica (S. 278-4)	1960	85	0	0
	P. persica var. « GF 305 »	1960	302	40	13,2
	P. persica var. « GF 305 »	1961	300	21	7,0
	P. persica var. « GF 305 »	1962	274	0	0
« Texas »	*P. persica* var. « Pourprée de St-Genis Laval »	1968	287	5	1,7
	P. persica var. « Shalil »	1968	248	10	4,4
	P. persica var. « Yunnan »	1968	356	6	1,7
	P. persica (mélange 1)	1968	375	2	0,5
	P. persica (mélange 2)	1968	337	4	1,2
	Mélange 3 (*persica* + *amygdalus*)	1968	727	2	0,3
Am 21	*P. persica* var. « Pourprée de St-Genis Laval »	1968	524	22	4,2
	P. persica var. « Shalil »	1968	829	14	1,7
	P. persica var. « Hey Hsien »	1968	685	0	0
	P. persica (mélange 1)	1968	493	22	4,6
	P. persica (mélange 2)	1968	764	19	2,5

Mélange 2 : pollen des pêchers, S. 1365, S. 2329 et S. 763, plus ceux du mélange 1.
Mélange 3 : pollen du mélange 1 plus autopollen (pollen de la variété pollinisée).

Résultats

Les différentes combinaisons réalisées et les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau 1.

Nous constatons dans ce tableau que, malgré le grand nombre de croisements réalisés et l'origine très diverse aussi bien des amandiers qui appartiennent à des populations botaniques et géographiques très différentes (France, Espagne, Italie, États-Unis) que celle des pêchers également très variée (France, Suisse, Maroc, États-Unis, Orient, Extrême-Orient) ; les pourcentages de fécondation sont souvent nuls ou faibles.

Quelques pourcentages atteignent parfois ou dépassent 10 p. 100 mais nous verrons que ces semences hybrides germent difficilement ; d'autre part nous pensons qu'une production de semences hybrides d'arbres fruitiers ne peut être envisagée si le taux de fécondation est inférieur à 20 p. 100.

A la lecture du tableau 2, on constate que la germination des semences hybrides est très faible.

Pour la plupart des cas, les embryons sont mal formés ou les plantules présentent des anomalies morphologiques telles que l'absence de radicelles.

Si le bas niveau des taux de fécondation peut, en partie, être imputé, certaines années, aux conditions climatiques défavorables lors de la récolte du pollen et de la réalisation des croisements, il n'en est pas de même pour la germination des semences obtenues, les essais de germination ayant été conduits en serre.

Les caractères morphologiques des jeunes hybrides F_1 Amandier × Pêcher correspondent à ceux des hybrides naturels souvent observés, avec un feuillage large et vernissé intermédiaire entre celui des deux espèces. Les caractéristiques des ramifications semblent varier en fonction des parents. Enfin toutes les combinaisons ne semblent pas donner une vigueur semblable ; si le croisement « Cristomorto » × « GF 305» a donné cinq plants très vigoureux, le croisement « Ardéchoise » × « Pourprée de St-Genis Laval » a donné un hybride faible. Il semble donc indispensable pour l'avenir de rechercher non seulement des combinaisons donnant des taux de fécondation et de germination suffisants mais encore des hybrides présentant un effet d'hétérosis important.

II. — *PRUNUS PERSICA* UTILISÉ COMME PARENT FEMELLE

L'espèce Pêcher étant autocompatible, son utilisation comme parent femelle n'était possible qu'en pratiquant la castration des fleurs ou en utilisant les rares variétés mâles stériles connues.

Les hybridations Pêcher × Amandier dont les résultats font l'objet de cette note ont été réalisées uniquement avec des géniteurs Pêcher mâles fertiles. Ces variétés, en effet, sont plus représentatives du comportement général de l'espèce Pêcher que les types mâles stériles.

TABLEAU 2

Aptitude à la germination des semences hybrides F_1 et caractéristiques des jeunes semis obtenus

Combinaisons parentales	Année	Nombre de noyaux semés	Nombre de plants germés	Aspect des jeunes semis hybrides
P. amygdalus var. « Aï » × *P. persica* var. « Pourprée de St-Genis Laval »	1961	3	2	1 vert faible 1 pourpre vigoureux.
P. amygdalus var. « Aï » × *P. persica* var. « Yunnan »	1961	8	2	P × A, très vigoureux.
P. amygdalus var. « Aï » × *P. persica* var. « du Laos »	1961	2	0	
P. amygdalus var. « Ardéchoise » × *P. persica* var. « Pourprée de St-Genis Laval »	1961	25	1	Feuilles pourpres, faibles
P. amygdalus var. « Ardéchoise » × *P. persica* var. « Shalil »	1961	27	1	P × A, vigoureux
P. amygdalus var. « Ardéchoise » × *P. persica* var. « Yunnan »	1961	32	2	
P. amygdalus var. « Ardéchoise » × *P. davidiana* (S. 693)	1961	81	2	Très *davidiana*, très vigour.
P. amygdalus var. « Ardéchoise » × *P. davidiana* (P. 1903)	1964	10	0	
P. amygdalus var. « Cristomorto » × *P. persica* var. « Pourprée de St-Genis Laval »	1962	14	0	
P. amygdalus var. « Cristomorto » × *P. persica* var. « Yunnan »	1962	14	0	
P. amygdalus var. « Cristomorto » × *P. persica* var. « GF 305 »	1961	40	5	P × A très vig., très régul.
P. amygdalus var. « Cristomorto » × *P. persica* var. « GF 305 »	1962	21	0	
P. amygdalus var. « Cristomorto » × *P. persica* var. « New Red Peach »	1964	6	0	
P. amygdalus var. « Desmayo » × *P. davidiana* (S. 693)	1962	20	0	
P. amygdalus var. « Marcona » × *P. davidiana* (S. 693)	1963	125	0	
P. amygdalus var. « Texas » × *P. persica* var. « Pourprée de St-Genis Laval »	1969	5	0	
P. amygdalus var. « Texas » × *P. persica* var. « Shalil »	1969	10	2	
P. amygdalus var. « Texas » × *P. persica* var. « Yunnan »	1969	6	0	
P. amygdalus var. « Texas » × *P. persica* (mélanges 1, 2 et 3)	1969	8	1	
P. amygdalus semis Am 21 × *P. persica* var. « Pourprée de St-Genis Laval »	1969	22	2	Très faibles
P. amygdalus semis Am 21 × *P. persica* var. « Shalil »	1969	14	0	
P. amygdalus semis Am 21 × *P. persica* (mélanges 1 et 2)	1969	22	0	

Les variétés « Sunhaven » (S. 1161), « Halehaven » (S. 1158), « Shalil » (S. 1365) et (S. 749 × « GF 305 »)1-4 ont été utilisées comme parent femelle, après castration et pollinisées par plusieurs variétés d'Amandier :

« Bartre » (R. 170) : variété à très gros fruit d'origine inconnue,
« Ardéchoise » (R. 61) : variété française à époque de floraison assez précoce,
« Flour en Bas » (R. 193) : variété provençale à époque de floraison moyenne,
« Texas » (R. 270) : variété californienne à époque de floraison tardive,
« Cristomorto » (R. 210) : variété italienne à époque de floraison très tardive.

Les diverses combinaisons hybrides et les pourcentages de fécondation obtenus sont rassemblés dans le tableau 3.

TABLEAU 3

Croisements réalisés avec Prunus persica *comme parent femelle*

Combinaisons parentales	Année	Nombre de fleurs pollinisées	Taux de fécondation
P. persica var. « Halehaven » × *P. amygdalus* var. « Cristomorto »	1968	410	7,6
P. persica var. « Shalil » × *P. amygdalus* var. « Ardéchoise »	1968	123	4,1
P. persica var. « Shalil » × *P. amygdalus* var. « Cristomorto »	1968	109	2,8
P. persica var. « Sunhaven » × *P. amygdalus* var. « Ardéchoise »	1968	279	1,0
P. persica var. « Sunhaven » × *P. amygdalus* var. « Bartre »	1968	181	2,0
P. persica var. « Sunhaven » × *P. amygdalus* var. « Marcona »	1968	167	1,0
P. persica F_2 (S. 749 × « GF 305 ») 1-4 × *P. amygdalus* var. « Cristomorto »	1968	1 131	1,8

Les résultats de ce tableau nécessitent quelques commentaires.

Ces taux de fécondation enregistrés sont appréciés par rapport aux taux de fécondation généralement observés dans les cas de pollinisation libre et qui se situent aux environs de 30 p. 100. Ce taux de 30 p. 100 est généralement jugé satisfaisant lorsqu'il s'agit de variétés cultivées pour leurs fruits, il est considéré comme un minimum dans le cas de variétés cultivées pour leurs semences.

Les taux de fécondation obtenus avec les variétés de Pêcher « Sunhaven » et « Shalil » sont tout à fait comparables, les pollinisations ayant été faites dans les mêmes conditions (sachet d'isolement) ; les pourcentages un peu plus élevés (4,1 et 2,8 p. 100) de fruits notés pour « Shalil » confirment que cette variété issue d'un groupe génétique particulier a une meilleure aptitude à l'hybridation avec l'Amandier.

Les deux autres variétés de Pêcher, « Halehaven » et (S. 749 × GF 305)1-4, ont été isolées par des cages étanches au pollen. On remarque le taux légèrement plus élevé de fécondation (7,6 p. 100) obtenu avec la variété « Halehaven ».

On constate cependant dans l'ensemble, et pour ces quatre variétés de Pêcher pollinisées après castration par diverses variétés d'Amandier, que les pourcentages de fécondations sont faibles. Il faut noter que dans les différents croisements réalisés, nous avons utilisé les géniteurs les plus éloignés possibles quant à leurs origines géographiques et génétiques.

Sur l'ensemble des 2 400 fleurs pollinisées, représentant sept combinaisons polliniques, le rendement général est de 72 fruits soit 3 p. 100. Comme nous savons que sur ces 72 fruits un certain nombre d'entre eux présente des graines mal formées, ceci peut expliquer la rareté des hybrides naturels Pêcher × Amandier.

Il ne semble pas y avoir de différences significatives entre les rendements obtenus avec les différentes variétés d'Amandier pollinisatrices.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Si on a longtemps supposé que la rareté des hybrides naturels Pêcher × Amandier était la conséquence du décalage des époques de floraison des deux espèces, on constate que cette hybridation, même effectuée dans de bonnes conditions, n'est pas facilement réalisable.

On a aussi longtemps cru que les hybrides naturels malgré leur dénomination courante de Pêcher × Amandier étaient toujours des semis d'amandier pollinisés naturellement par des pêchers. La raison en était qu'on les rencontrait souvent à proximité de vieux amandiers. Il semble aussi que les hybrides naturels aient été signalés plus souvent dans des semis d'amandier que dans des semis de pêcher ce qui est logique en raison de l'autostérilité de l'Amandier. Il est probable que ces rares hybrides naturels étaient aussi bien des semis d'amandier que de pêcher.

En réalité, sous le climat du sud-ouest de la France et avec les combinaisons réalisées, pourtant fort nombreuses, on constate que l'Amandier, dans des hybridations où il est utilisé comme parent femelle, donne non seulement des taux de fécondation très faibles mais encore des embryons ayant une très faible aptitude à la germination.

Une expérience de production de semences hybrides avec l'Amandier comme parent femelle réalisée dans la région de Nîmes (Gard), et à l'échelle d'un petit verger (un tiers d'hectare), en pollinisation libre, n'a pas mieux réussi. La variété d'Amandier « Cristomorto » (R. 210), choisie pour son époque de floraison très tardive, y était pollinisée par des pêchers « GF 305 ». Sur plusieurs milliers de graines récoltées dans ce verger et semées, un seul hybride naturel Amandier × Pêcher a été observé, l'essai ayant duré plusieurs années.

Après ces résultats décevants, on peut être surpris des résultats de R. W. Jones (1969) qui obtient avec l'amandier « Titan » pollinisé par le pêcher « Nemaguard », non seulement un taux de fécondation convenable mais encore un pourcentage de germination des semences hybrides tout à fait normal (fig. 2, 3). Il est possible que les conditions climatiques de Fresno, en Californie, soient favorables à la réalisation d'une telle hybridation interspécifique. Les croisements récemment utilisés par Kochba et Spiegel Roy (1972) en Israël, entre des amandiers locaux et le pêcher « Okinawa » semblent confirmer cette hypothèse. On sait, en effet, qu'une température élevée favorise les croisements et R. Monet (1968) a montré que la température est un facteur important de développement des embryons. Il est possible également que l'aptitude à l'hybridation des deux géniteurs choisis par R. W. Jones soit parfaite.

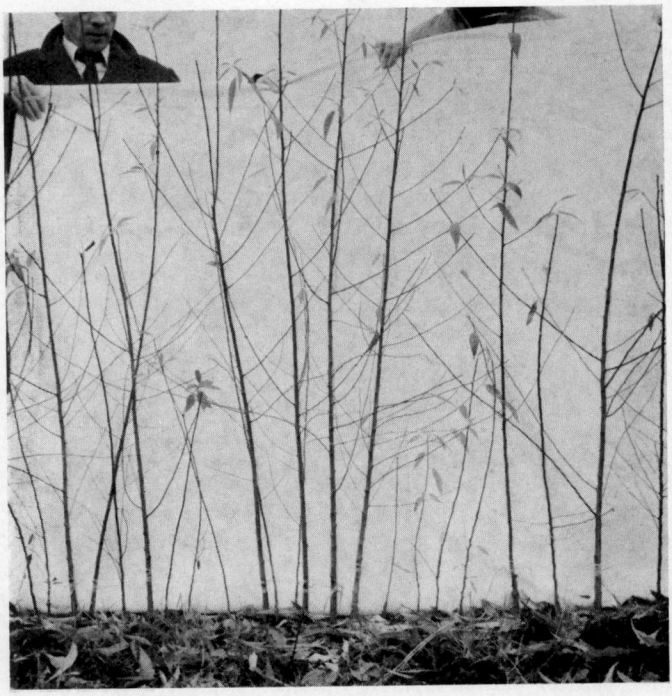


FIG. 2. — *Semis de la variété d'Amandier « Titan »*
Les plants les plus développés sont des F_1 hybrides avec Pêcher.
Les plants les moins développés sont des F_1 Amandier × Amandier

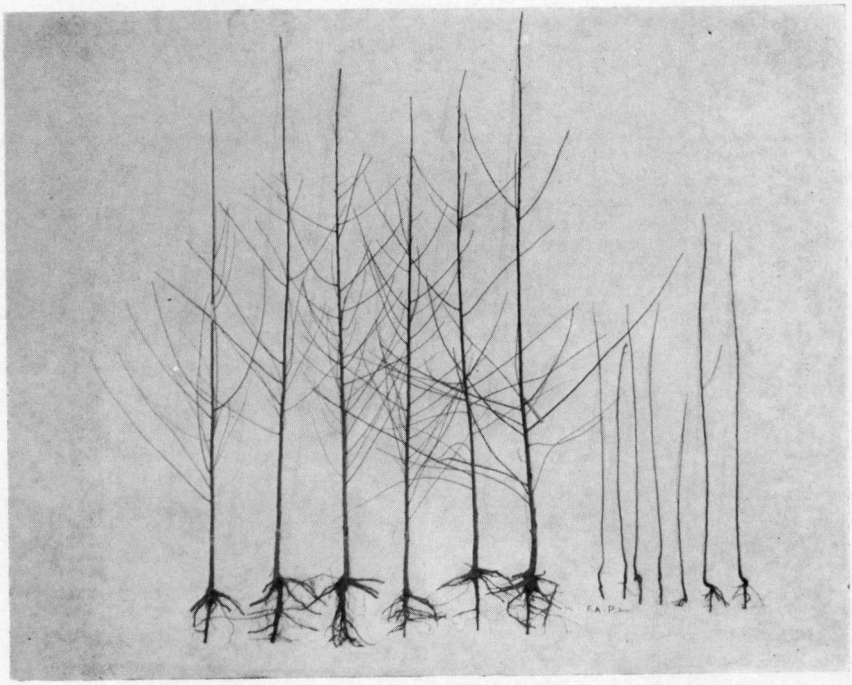


FIG. 3. — *Semis de la variété d'Amandier « Titan » après triage*
A gauche F_1 × Pêcher, à droite F_1 × Amandier

Le croisement réciproque, Pêcher femelle par Amandier mâle ne semble pas donner de meilleurs résultats lorsque les variétés de Pêcher utilisées comme parent femelle sont mâles fertiles.

Les résultats différents enregistrés quand les variétés de Pêcher étaient mâles stériles nous laissent supposer un comportement physiologique particulier de ces variétés et c'est pour cette raison que ces croisements feront l'objet d'une autre publication.

Reçu pour publication en octobre 1973.

SUMMARY

STUDY OF THE POSSIBILITIES OF PRODUCING INTRA- AND INTERSPECIFIC F_1 HYBRIDS IN THE SUB-GENUS *AMYGDALUS*.

II. — RECIPROCAL COMBINATIONS : *PRUNUS AMYGDALUS* AND *PRUNUS PERSICA*

Trials of interspecific crossings between *P. amygdalus* and *P. persica* were carried out from 1957 to 1970 in order to study the possibilities of producing F_1 hybrid seed that could be used as stock.

The numerous crossings having *P. amygdalus* as the female parent did not give the anticipated results owing, on the one hand, to the very low percentage of fertilization obtained at pollinations and, on the other hand, to the hybrid seed's lack of germination capacity.

The crossings carried out with *P. persica* as female parent gave no better results with regard to fertilization rate.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BERNHARD R., 1949. Le Pêcher × Amandier et son utilisation. *Rev. hort.*, nº 2164, 97-101.

BERNHARD R., 1965. La propagation des variétés de Pêcher. Les porte-greffes utilisés. *Communication au « Congrès du Pêcher »*, Vérone (Italie), 20-24 juillet 1965.

GRASSELLY Ch., 1956. La bouture de feuille, nouvelle méthode de multiplication d'un hybride Pêcher × Amandier utilisé comme porte-greffe. *Revue hort. suisse*, avril, 116-118.

JONES R. W., 1969. Selection of intercompatible Almond and root-knot Nematode resistant Peach rootstocks as parents for production of hybrid rootstock seeds. *J. Amer. Soc. hort. Sci.*, **94**, 89-91.

KOCHBA J., SPIEGEL-ROY P., 1972. Resistance to root-knot Nematode in bitter « Almond » progenies and « Almond » × « Okinawa » peach hybrids. *Hortscience*, **7**, nº 5, 433-436.

MONET R., 1968. Méthode permettant l'obtention de plants viables à partir d'embryons de variétés très précoces chez le Pêcher. *Ann. Amélior. Plantes*, **18**, 85-91.

Ann. Amélior. Plantes, 1974, **24** (4), 415-420.

NOTE

QUELQUES ASPECTS DE L'EMBRYOGENÈSE CHEZ L'AMANDIER

V. GRIGORIAN

Faculté d'Agronomie,
Université de Tabriz (Iran)

RÉSUMÉ

En nous basant sur des coupes histologiques, nous avons décrit les principales étapes de l'embryogenèse de deux variétés d'Amandier d'époques de floraison différentes.

Selon PECHOUTRE (1902), MALPIGHI aurait dès 1875 donné une description anatomique de l'ovule et de la graine des Rosacées, et en particulier des Amygdalées. Il avait remarqué la forme tubuleuse, longue et étroite du sac embryonnaire, élargie dans sa portion supérieure se continuant par un long filament dans la région chalazienne. Plus tard, DUTROCHET (1882) décrivant le sac embryonnaire d'*Amygdalus communis* constate que la partie supérieure de ce sac primitivement tubuleux se renfle en poches inégales superposées qu'il appelle « hypostates ».

TULASNE (1885) signale qu'il s'écoule un intervalle très long entre la fécondation de la fleur et la formation de la graine chez les Amygdalées.

Enfin PECHOUTRE (1902), dans une étude comparative de l'ovule et de la graine des Rosacées, consacre un paragraphe à *Amygdalus communis* L. dans lequel il décrit les caractéristiques anatomiques de l'ovule et de la cavité ovarienne de cette espèce.

Contrairement à d'autres espèces du même genre pour lesquelles il existe des études d'embryogenèse récentes et complètes telles que celle consacrée au Pêcher par LILIEN-KIPNIS et LAVEE (1971), l'Amandier semble avoir été négligé.

Notre étude se propose de décrire quelques aspects de l'embryogenèse de l'Amandier en insistant davantage sur l'aspect dynamique du phénomène.

I. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

A. — *Matériel d'études*

Les fruits nécessaires à notre étude ont été prélevés sur des amandiers de collection âgés de 7 à 8 ans.

Nous avons choisi deux variétés, d'époques de floraison différentes, l'une précoce et l'autre tardive, afin d'établir éventuellement quelques comparaisons chez des variétés ayant des rythmes de développement différents.

Ces variétés sont les suivantes :

« Nec Plus ultra » : variété californienne à floraison précoce (elle fleurit généralement aux environs de la première semaine du mois de mars), son époque de maturité est normale ;

« Texas » : variété californienne à floraison tardive (aux environs du 15 mars), son époque de maturité est, elle aussi, tardive.

B. — *Méthode utilisée*

A partir du mois de mai, soit 60 et 50 jours après la pleine floraison (1), de ces deux variétés, nous avons prélevé toutes les semaines quelques fruits au hasard sur chacune d'elles.

Les jeunes graines, après avoir été débarrassées de leur coque verte (ensemble de l'épicarpe et du mésocarpe) et de la coque dure (endocarpe), ont été fixées dans le mélange dit FAA de composition suivante :

alcool éthylique à 50°	90 p. 100
formol	5 —
acide acétique glacial	5 —

Après inclusion dans la paraffine, des coupes de 8μ ont été réalisées au microtome et colorées au vert de méthyle-pyronine selon la technique de Brachet.

RÉSULTATS

Cinquante jours après la floraison (environ le 2 mai chez la variété « Texas »), l'embryon est encore au stade globuleux. Son diamètre n'est que de 110 microns. On peut distinguer le suspenseur constitué dans sa largeur maximum par deux séries de cellules (fig. 1).

En ce qui concerne la variété « Nec Plus Ultra », on constate au même moment que le développement de son embryon est beaucoup plus avancé. Son diamètre est de l'ordre de 200 microns, le suspenseur est plus allongé avec cinq rangées de cellules dans le sens de la largeur (fig. 1).

Les autres tissus bien différenciés à cette époque, sont de l'intérieur vers l'extérieur :

— l'albumen provenant de la triple fusion qui a réuni deux cellules polaires du sac embryonnaire et le noyau végétatif du grain de pollen. C'est un tissu lache qui a envahi le sac embryonnaire ;

— le nucelle qui entoure le sac embryonnaire et sert à son développement ;

— les téguments séminaux.

Après le stade globuleux, le développement s'accélère. L'initiation des cotylédons commence, on assiste à la disparition du suspenseur. La tigelle est très petite avec son apex bien marqué qui commence à former les premiers primordia foliaires.

(1) Nous avons adopté pour désigner la « pleine floraison », le stade conventionnel utilisé pour des observations phénologiques, correspondant à 50 p. 100 des fleurs ouvertes sur l'arbre.

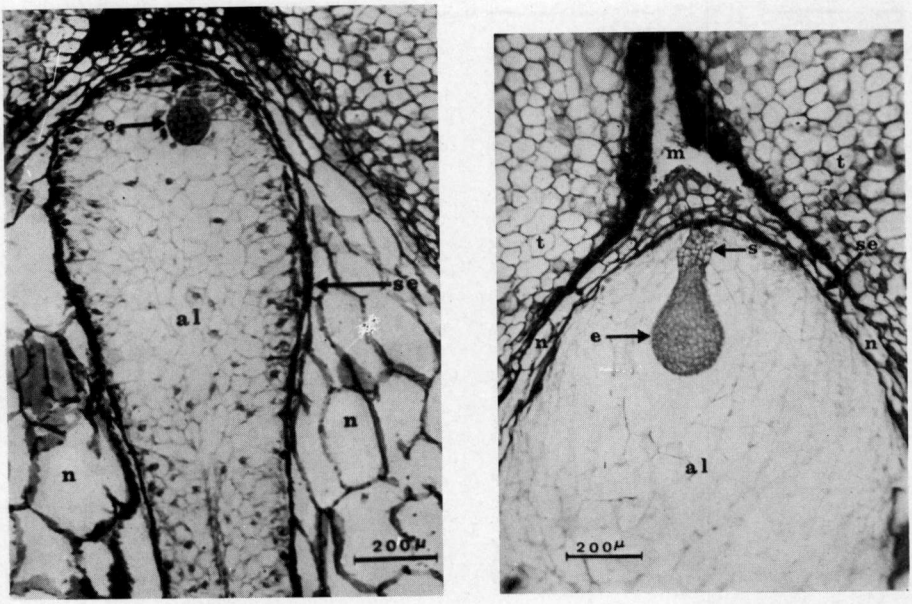


FIG. 1. — *Coupes longitudinales des embryons des variétés « Texas »* (à gauche) *et « Nec Plus Ultra »* (à droite) *prélevés 50 et 60 jours après leur pleine floraison*

e. : embryon
s. : suspenseur
al. : albumen
n. : nucelle
s. e. : sac embryonnaire
t. : téguments
m. : micropyle

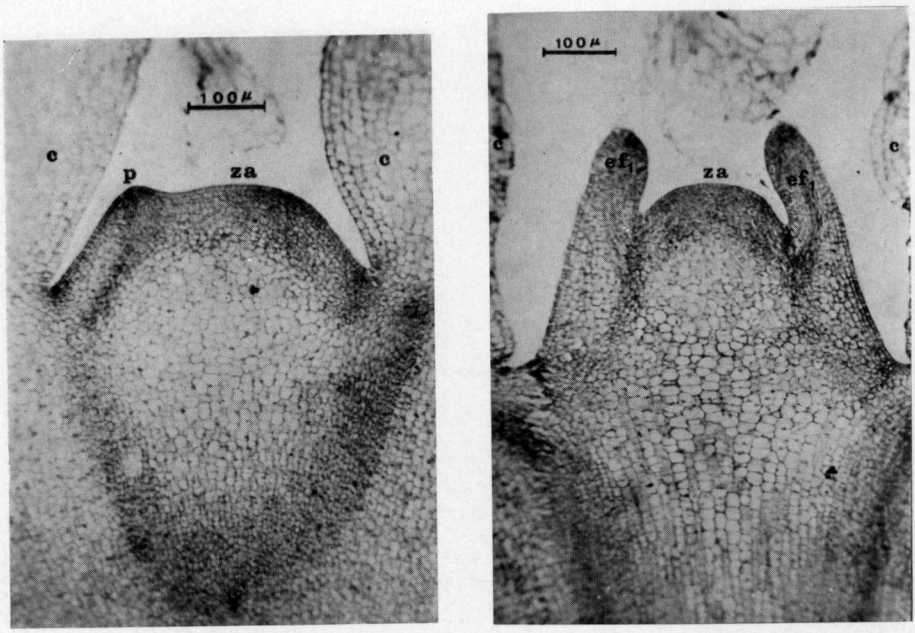


FIG. 2. — *Coupes longitudinales des embryons des variétés « Texas »* (à gauche) *et « Nec Plus Ultra »* (à droite) *prélevés 73 et 83 jours après la pleine floraison*

c. : cotylédons
z. a. : zone apicale
e. f_1 : ébauches foliaires de rang 1
p. : primordium foliaire

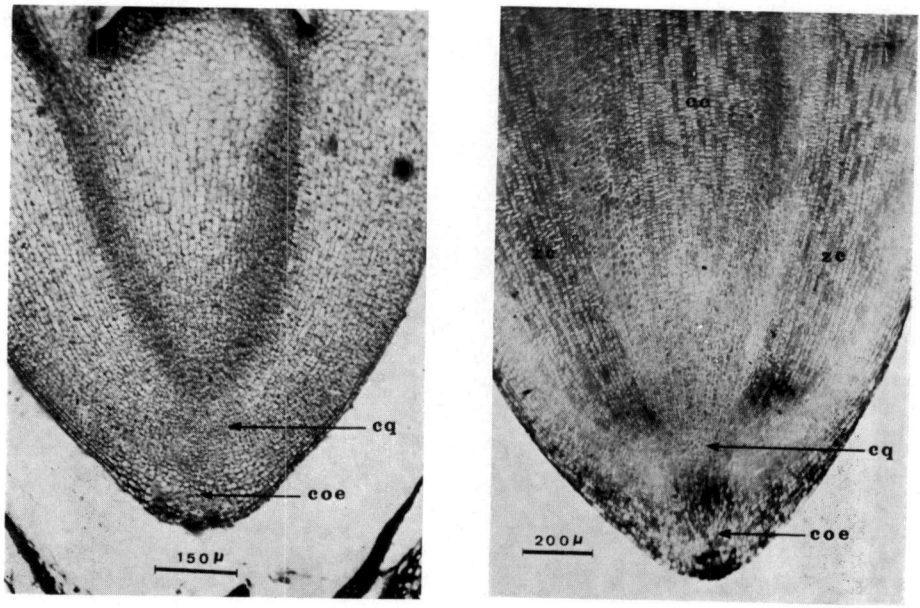


FIG. 3. — *Coupes longitudinales des racines embryonnaires de la variété « Texas » prélevées 73* (à gauche) *et 142* (à droite) *jours après la pleine floraison*

c. c. : cylindre central
z. c. : zone corticale
c. q. : centre quiescent
co. e. : coiffe embryonnaire

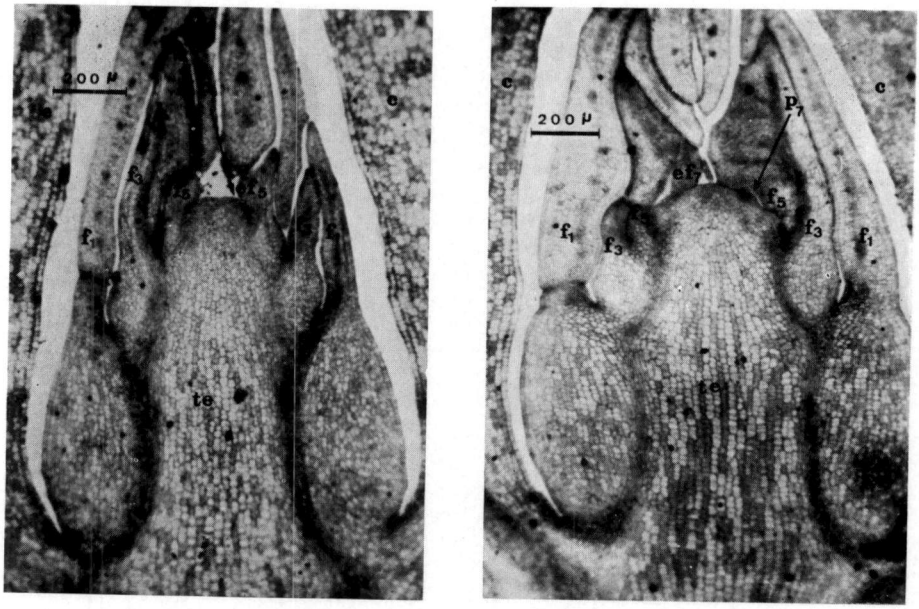


FIG. 4. — *Coupes longitudinales des embryons des variétés « Texas »* (à gauche) *et « Nec Plus Ultra »* (à droite) *prélevés 100 jours et 110 jours après leur pleine floraison*

c. : cotylédons
f_1 : feuilles de rang 1
f_3 : feuilles de rang 3
f_5 : feuilles de rang 5
p_7 : surrection de primordium foliaire de rang 7
z. a. : zone apicale
t. e. : tigelle embryonnaire

En comparant l'activité d'organogenèse chez les deux variétés étudiés, on peut constater lors des premiers stades, une différence importante entre la longueur de leur embryon et l'état d'avancement de l'initiation de leurs primordia foliaires.

Chez la variété « Texas » (tardive), c'est seulement à partir du 25 mai, soit 73 jours après la floraison, que la première feuille se forme. A la même date, chez la variété « Nec Plus Ultra » (précoce), il existe déjà des ébauches de feuilles bien formées et la tigelle est plus grande (fig. 2).

La radicule aussi se développe rapidement, les coupes de la figure 3 montrent sa transformation pour la variété « Texas » », 73 jours puis 142 jours après la floraison.

Au fur et à mesure que l'on avance vers la maturité de la graine, on constate que la gemmule grandit en formant plusieurs primordia foliaires et que l'embryon évolue vers sa structure définitive. Cent jours après la floraison, la variété « Texas » a des embryons possédant cinq primordia foliaires, au même moment la variété « Nec Plus Ultra » en possède sept (fig. 4).

Dans une graine récoltée environ un mois avant maturité, on trouve la structure d'un embryon complet. Plusieurs primordia foliaires sont formés (leur nombre varie de 14 à 16). Ils ont déjà atteint la dimension qu'ils auront dans la graine au moment de la récolte (fig. 5).

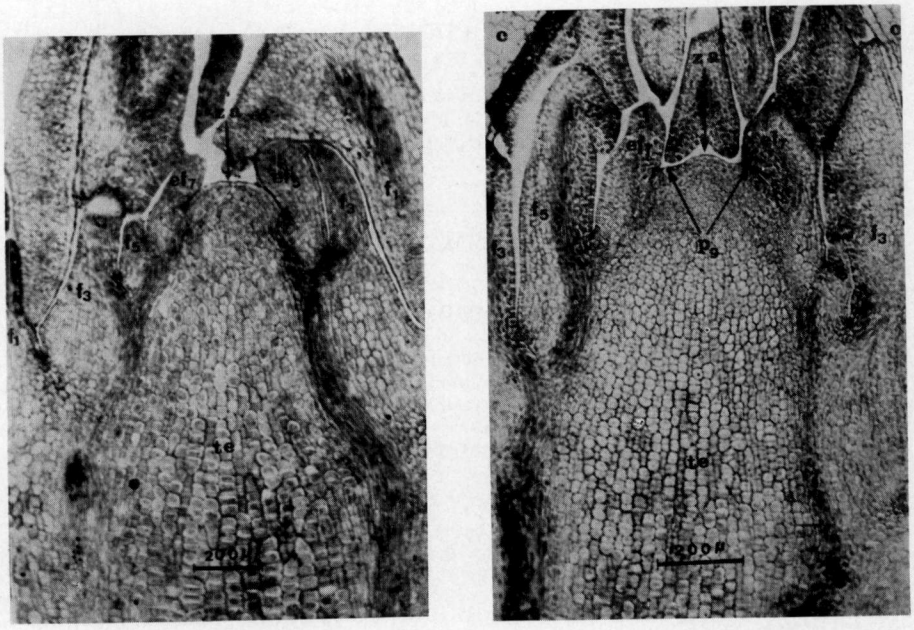


FIG. 5. — *Coupes longitudinales des embryons des variétés « Texas » et « Nec Plus Ultra » prélevés 149 et 159 jours après la pleine floraison*

z. c. : zone corticale
t. e. : tigelle embryonnaire
f_1 : feuilles de rang 1
f_3 : feuilles de rang 3
f_5 : feuilles de rang 5
e. f_7 : ébauches foliaires de rang 7

On peut dire que l'embryon de l'Amandier, au moment de la récolte de la graine, a une structure très élaborée.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Lors de nos premiers prélèvements (50 et 60 jours après la floraison respective des deux variétés), l'embryon est encore au stade globuleux ce qui implique qu'après la fécondation, l'activité mitotique de l'embryon reste faible jusqu'à ce que l'albumen soit entièrement développé. Les observations de TULASNE (1885) se trouvent ainsi confirmées.

Par la suite l'embryogenèse redevient active avec la formation des cotylédons et se poursuit jusqu'à la réalisation de la structure définitive de l'embryon (formation des primoria foliaires dont le nombre varie de 15 à 16).

La variété à floraison précoce (« Nec Plus Ultra ») présente, au moins dans les premiers stades de la formation de l'embryon, une avance sur la variété à floraison tardive (« Texas »). Mais cette avance s'estompe par la suite de telle sorte qu'à la maturité du fruit, il est impossible de distinguer morphologiquement les deux types d'embryons.

Reçu pour publication en janvier 1974

REMERCIEMENTS

Nous exprimons nos plus vifs remerciements à M. BERNHARD, Dr de la Station de Recherches d'Arboriculture fruitière de Bordeaux et à MM. MONET, GRASSELLY, GALL et BASTARD pour les encouragements et les conseils qu'ils nous ont prodigués au cours de cette étude.

SUMMARY

SOME ASPECTS OF EMBRYOGENESIS IN ALMOND

Histological study of the embryonic development of two varieties of Almond with different flowering time shows that when the egg of the almond has been pollinated and fertilised, its mitotic activity slows down. Following albumen expansion, it resumes growth, becomes globulous and cotyledons are formed.

In the final stage the embryo is an elaborated organ with fourteen to sixteen leaf primordia.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DUTROCHET 1882. Recherches sur l'accroissement et la reproduction des Végétaux. *Mem. Museum Histoire nat., Paris*, **7**.

GRIGORIAN V., 1972. *L'embryogenèse chez l'Amandier (Prunus amygdalus* BATSCH) ; *étude comparée de la dormance des graines et de la dormance des bourgeons végétatifs.* Thèse Doct. Fac. Sci. Université Bordeaux I, 114 p.

LILIEN-KIPNIS H., LAVEE S., 1971. Anatomical changes during the development of « Ventura » peach fruits. *J. hort. Sci.*, **46**, 103-110.

MALPIGHI, 1875. *Anatome Plantarum*, Londini.

PECHOUTRE F., 1902. *Contribution à l'étude du développement de l'ovule et de la graine des Rosacées.* Thèse Doct. Fac. des Sci. de Paris.

TULASNE, 1855. Nouvelle étude d'embryogénie végétale. *Ann. Sci. nat. bot.*

REMERCIEMENTS

Les articles parus dans le volume de 1974 des *Annales de l'Amélioration des Plantes* ont été examinés, au préalable, chacun par deux lecteurs.

Nous remercions ici ceux qui ont ainsi contribué de manière efficace à la publication de notre revue.

Guy Anais
Philippe Auriau
Christian Brian
Ernest Boesiger
René Bernhard
Charles Baldy
Jean Berthaut
Alain Bouquet
Denis Boubals
Yves Coïc
Roger Cousin
Claude Costes
Joseph Cohat
Patrice Crossa-Raynaud
Yves Demarly
Alain Deshayes
Jean Dunez
Marc Dalebroux
Maurice Derieux
Luc Decourtye
Sadi Essad
René Écochard
Guy Fouilloux
Pierre Guy
André Gallais
Jean Hugard
Eugène Jolivet
Patrice Leclercq
Daniel Maizonnier
Nicole Maia
Paul Mansat
Jacques Morice
Jacques Mosse
Georges Pelletier
Roger Pouget
Jean Picard
Edmond Pochard
Sané de Parcevaux
Claude Planchon
Michel Rousset
Henry-André Renard
Bertrand Schweisguth
Lucette Thévenin
Roger Wagner

Ann. Amélior. Plantes, 1974, **24** (4).

TABLE DES MATIÈRES DE L'ANNÉE

M. ARNOUX. — Recherches sur la Canne de Provence (*Arundo donax* L.) en vue de sa production et de sa transformation en pâte à papier 349

Ch. M. BALDY. — Quelques réflexions concernant les caractères du rendement des blés 193

Catherine BERGOUGNIOUX. — Déclenchement des phénomènes de régénération sur des pétales de *Petunia hybrida* 55

F. BLONDON, P. GUY. — Contribution à l'étude de la production des graines de Luzerne en conditions artificielles en vue d'accélérer les générations. II. — Influence de la température sur les vitesses de maturation et de germination 209

Marie-Thérèse CHESNEAUX. — Contribution à l'étude de la production de graines de Luzerne en conditions artificielles en vue d'accélérer les générations. I. — Influence de la concentration en azote de la solution nutritive 63

Marie-Thérèse CHESNEAUX. — La multiplication végétative chez la Luzerne 83

H. CLANET, J.-C. SALLES. — Contribution à l'étude de la fructification de l'Abricotier dans des conditions climatiques différentes 97

J. COHAT. — Contribution à l'étude de la tubérisation du Glaïeul d'été (*Gladiolus grandiflorus* HORT.) 13

Yvette DATTÉE. — Effet de l'apparentement sur la production de graines en croisement chez la Luzerne (*Medicago sativa* L.) 25

Yvette DATTÉE. — Influence des interactions entre les génotypes parentaux sur la production de graines chez la Luzerne (*Medicago sativa* L.) 37

M. A. DALEBROUX. — Régressions polynomiales par l'origine. Analyse de variance par la méthode des coefficients orthogonaux 71

G. DOUSSINAULT, J. KOLLER, H. TOUVIN, Françoise DOSBA. — Utilisation des géniteurs VPM 1 dans l'amélioration de l'état sanitaire du Blé tendre . 215

R. DUMAS de VAULX, E. POCHARD. — Essai d'induction de la parthénogenèse haploïde par action du protoxyde d'azote sur les fleurs de piments (*Capsicum annuum* L.) 283

R. DUMAS de VAULX. — Étude des possibilités d'utilisation de la polyploïdie dans l'amélioration du Melon (*Cucumis melo* L.) 389

Ch. GRASSELLY. — Étude des possibilités de production d'hybrides F_1 intra- et interspécifiques chez le sous-genre *Amygdalus*. I. — Hétérosis chez *Prunus persica* hybridé par *Prunus persica*, *Prunus davidiana* et *Prunus kansuensis* 307

Ch. GRASSELLY et H. DAMAVANDY-KOZAKONANE. — Étude des possibilités de production d'hybrides F_1 intra- et interspécifiques chez le sous-genre *Amygdalus*. II. — Combinaisons réciproques : *Prunus amygdalus* et *Prunus persica* 405

V. GRIGORIAN. — Quelques aspects de l'embryogenèse chez l'Amandier 415

L. JESTIN. — Les variations de la teneur en protéines brutes chez l'Orge selon la variété et le milieu : étude préliminaire à partir d'essais culturaux ... 377

C. MARÉNAUD, R. SAUNIER. — Action des virus du type ILAR sur le pollen de l'espèce *Prunus persica* 169

Fanja MONDEIL. — Irradiation de microspores en culture d'anthères : essai d'une nouvelle technique d'obtention de mutations immédiatement décelables et fixables (Application à *Nicotiana tabacum*) 1

Jacqueline PHILOUZE. — Gènes marqueurs liés aux gènes de stérilité mâle *ms 32* et *ms 35* chez la Tomate 77

Jacqueline PHILOUZE. — Utilisation pratique d'une lignée mâle-stérile *ms 35* chez la Tomate 129

Jacqueline PHILOUZE. — Étude de deux gènes de coloration brune de la graine de Tomate 317

C. PLANCHON. — Assimilation nette par unité de surface chez diverses espèces du genre *Triticum* 201

E. POCHARD, H. SERIEYS. — Mise en évidence de différences variétales de transpiration chez l'Aubergine et d'autres Solanacées (*Solanum melongena* L., *Capsicum annuum* L., *Lycopersicon esculentum* MILL.). Conséquences pour l'adaptation à différents climats 243

P. de REFFYE, S. ESSAD. — Étude des relations métriques dans la spirale majeure de deux paires de chromosomes de *Lolium perenne* L. 335

Georgette RISSER, G. AUBERT. — Effets d'une morphactine sur la croissance et la biologie florale du Melon (*Cucumis melo*) 45

B. SCHWEISGUTH. — Étude de la teneur en matière sèche de l'Oignon, *Allium cepa* L. II. — Hérédité de la teneur en matière sèche du bulbe 185

Indra Sen SINGH. — Genetic analysis of pollen fertility in two lines of Petunia. (Analyse génétique de la fertilité pollinique chez deux lignées de Pétunia) 159

C. TENDILLE, M. LECERF. — La multiplication végétative de l'Asperge (*Asparagus officinalis* L.). Action de divers facteurs, en particulier de la nutrition minérale, sur le développement des méristèmes d'Asperge, sur la croissance des plantules issues de ces méristèmes et sur la production de plantes adultes 269

R. WAGNER, A. BRONNER. — Étude de la fertilité des semis de *Vitis vinifera* : application à la mise au point d'un test précoce de sélection 145

Informations 93

CONTENTS

M. ARNOUX. — Growing and processing of a giant reed, *Arundo donax* L., as a potential papermaking raw material 349

Ch. M. BALDY. — Some reflections about characters for yield in Wheat 193

Catherine BERGOUGNIOUX. — Inducing regeneration from the corolla in *Petunia hybrida* 55

F. BLONDON, P. GUY. — The effect of different temperatures on the qualitative production of Lucerne seeds, *Medicago sativa* L., under controlled conditions 209

Marie-Thérèse CHESNEAUX. — Contribution to the study of Lucerne seed production under artificial conditions with a view to speeding up generations. I. — Influence of the nutritive solution nitrogen concentration.... 63

Marie-Thérèse CHESNEAUX. — Vegetative propagation in Lucerne 83

H. CLANET, J.-C. SALLES. — Contribution to the study of fructification of Apricot in different climatic conditions 97

J. COHAT. — Contribution to the study of Summer Gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* HORT.) tuberization 13

Yvette DATTÉE. — Consanguinity effect on pods and seeds production in Lucerne (*Medicago sativa* L.) 25

Yvette DATTÉE. — Effect of interactions between parental genotypes on seeds production in Lucerne (*Medicago sativa* L.) 37

M.-A. DALEBROUX. — Polynomial regressions through the origin. Analysis of variance by the method of orthogonal coefficients 71

G. DOUSSINAULT, J. KOLLER, H. TOUVIN, Françoise DOSBA. — The use of VPM 1 parents in improving disease resistance in Wheat 215

R. DUMAS de VAULX, E. POCHARD. — Effect of nitrous oxide on the induction of haploidy in the Garden Pepper (*Capsicum annuum* L.) 283

R. DUMAS de VAULX. — The possibility of using polyploidy in Muskmelon breeding (*Cucumis melo* L.) 389

Ch. GRASSELLY. — Study of the possibilities ofpro ducing intra- and interspecific F_1 hybrids in the sub-genus *Amygdalus*. I. — Heterosis in *Prunus persica* hybridized by *Prunus persica*, *Prunus davidiana* and *Prunus kansuensis* 307

Ch. GRASSELLY, H. DAMAVANDY-KOZAKONANE. — Study of the possibilities of producing intra- and interspecific F_1 hybrids in the sub-genus *Amygdalus*. II. — Reciprocal combinations : *Prunus amygdalus* and *Prunus persica* 405

V. GRIGORIAN. — Some aspects of embryogenesis in Almond..... 415

L. JESTIN. — Variations of crude proteins content in Barley according to variety and environment : preliminary study following cultural tests ... 377

C. Marénaud, R. Saunier. — Action of ILAR type viruses on the pollen of *Prunus persica* 169

Fanja Mondeil. — Microspores irradiation in anther culture : testing a new technique to obtain mutations immediatly detected and fixed. (Application to *Nicotiana tabacum*) 1

Jacqueline Philouze. — Marker genes for *ms 32* and *ms 35* male sterility genes in Tomato 77

Jacqueline Philouze. — Practical use of a *ms 35* male sterile line in Tomato.. 129

Jacqueline Philouze. — Study of two genes responsible for a brown pigmentation of Tomato seed 317

C. Planchon. — Net assimilation rate per surface area unit in various species of genus *Triticum* 201

E. Pochard, H. Serieys. — Differences in transpiration rates between varieties of Eggplant and other Solanaceae (*Solanum melongena* L., *Capsicum annuum* L., *Lycopersicon esculentum* mill.). Consequences for the adaptation to different climatic conditions 243

P. de Reffye, S. Essad. — Metric relations in the major spiral of two pairs of *Lolium perenne* chromosomes 335

Georgette Risser, G. Aubert. — Effects of morphactin on growth and floral biology of Melon (*Cucumis melo*) 45

B. Schweisguth. — Study on the dry matter content in Onion, *Allium cepa* L. II. — Heredity of dry matter content in the bulb 185

Indra Sen Singh. — Genetic analysis of pollen fertility in two lines of Petunia 159

C. Tendille, M. Lecerf. — Propagation of Asparagus (*Asparagus officinalis* L.). Influence of various factors, especially of mineral nutrition, on the growth of Asparagus meristems and deriving plantlets and on the production of adult plants 269

R. Wagner, A. Bronner. — Study of *Vitis vinifera* seedling fertility : application to an early selection test 145

Informations 93

RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS

Le manuscrit doit être dactylographié sur papier format 21 × 29,7, avec un double interligne, au recto seulement. Chaque page sera numérotée et des feuilles *séparées* seront utilisées pour les références bibliographiques, les tableaux, les légendes des figures et graphiques, etc.

Au début de chaque mémoire, on indiquera : — *le titre du mémoire;* il ne devra pas comporter d'abréviations ni de formules chimiques (sauf pour les isotopes) ; — *le nom des auteurs*, précédé des initiales du prénom pour les hommes, du prénom complet pour les femmes ; — *le nom des techniciens* ayant collaboré à l'étude relatée, précédé de la mention : avec la collaboration technique de... ; *le nom de l'établissement*, dans lequel ont été effectuées les recherches et son adresse.

Les mémoires seront rédigés, autant que possible, d'après le plan ci-dessous :
a) *résumé* (250 mots max.) suffisamment précis pour que sa lecture renseigne sur la nature du travail et son importance ; b) *introduction* dans laquelle on indique l'objet des recherches entreprises en relation avec les travaux déjà effectués dans le domaine ; c) *techniques expérimentales et matériel utilisé*, en donnant, sous une forme concise, tous les détails nécessaires pour que le lecteur puisse répéter les expériences ; d) *résultats*, à présenter de la manière la plus brève possible ; e) *discussion* et *conclusion* ; f) *titre et résumé* en anglais ou destiné à être traduit en anglais comportant une analyse *complète* de l'article ; g) *remerciements* pour les collaborations, les fonds, les dons... ; h) *références bibliographiques.*

Les travaux originaux en anglais doivent présenter la même composition que les mémoires rédigés en français, mais ils comportent obligatoirement un résumé français *très complet.* Les figures, graphiques, tableaux et photographies seront sous-titrés en français.

Pour les autres documents (notes, mises au point, revues, rapports, etc.), l'auteur devra suivre un plan logique et le mettre en évidence par une titration appropriée.

Les références bibliographiques doivent être citées dans le texte de la manière suivante : (DUPONT et DUVAL, 1954). Lorsque la référence comporte plus de trois auteurs, seul le premier sera mentionné, suivi de *et al.* A la fin de l'article, les références constituant la bibliographie doivent être citées par ordre alphabétique des noms d'auteurs, et par ordre de dates pour un même auteur.

Pour les articles : le (s) nom (s) de (s) auteur (s) suivi (s) des initiales du (des) prénom (s) ; la date de parution de l'article ; le titre de l'article (dans la langue originale pour l'allemand, l'anglais, l'italien, l'espagnol et en français dans tous les autres cas, avec indication entre parenthèses de la langue d'origine, sauf si l'auteur étranger a sous-titré dans l'une des quatre langues mentionnées) : le titre du périodique en abrégé, selon la *World List of Scientific Periodicals*, ou le *Bulletin Signalétique du C. N. R. S.* ; le volume, la première et la dernière page de l'article.

Pour les ouvrages : le nom de l'auteur avec les initiales du prénom ; la date de l'édition ; le titre complet de l'ouvrage dans la langue originale, sans abréviations (pour les langues utilisant des alphabets autres que l'alphabet latin, la traduction du titre sera donnée entre parenthèses, avec mention de la langue d'origine) ; le volume ; la première et la dernière page du paragraphe se rapportant aux résultats discutés, et, si l'on cite l'ouvrage en entier, le nombre de volumes et le nombre total de pages ; le numéro de l'édition s'il y en a plusieurs ; le nom de l'éditeur ; le lieu de l'édition. Si l'ouvrage est collectif, on indiquera en plus le nom de l'auteur du chapitre cité, le nom des rédacteurs principaux, précédé de la mention « in », le titre de l'ouvrage.

La mention de « communications personnelles » ou « données non publiées » etc. doit être faite entre parenthèses. Lorsque l'auteur a relevé une référence dans une revue d'« Abstracts », le mentionner à la fin de la référence, entre parenthèses.

Les tableaux, dessins, graphiques, cartes, photographies, doivent être fournis à part. Les tableaux et figures doivent faire l'objet de deux numérotations distinctes, en chiffres arabes l'une et l'autre.

Les auteurs peuvent disposer leurs tableaux soit dans le sens de la largeur de la revue, soit dans le sens de la longueur. Dans le sens de la largeur, le total des signes et des espaces disponibles est de 100. Dans le sens de la longueur, il est de 155. Les tableaux en longueur, c'est-à-dire ceux pouvant disposer de 155 signes, ne seront admis que s'ils comprennent plus de 8 lignes de chiffres, de manière qu'une page entière de la revue ne soit pas occupée par un tableau très long et très étroit. Les graphiques ne doivent pas faire double emploi avec les tableaux.

Les légendes et les énoncés des graphiques et dessins doivent être dactylographiés sur une même feuille séparée et porter les numéros des figures.

Les graphiques, schémas, cartes, dessins d'appareils seront envoyés soit *à l'état définitif* soit *à l'état de projets*, leur exécution définitive étant confiée au Bureau de Dessin de l'I. N. R. A. Seules deux réductions à l'impression sont admises : *soit* × 0,5, *soit* × 0,25.

Il est rappelé que le format utile des Annales est : 12,5 × 19 cm ; ces dimensions ne doivent pas être dépassées.

Photographies : Il est recommandé de fournir des épreuves bien contrastées sur papier blanc, et de préférence en format 9 × 12. Si les photographies doivent être associées pour constituer des planches, on adoptera les normes suivantes : 2 photos 9 × 12, 4 photos 9 × 5,5, 6 photos 5,5 × 5,5. Dans ce cas, chaque photo devra porter un numéro en chiffres arabes visible après clichage.

Les légendes des photographies doivent être dactylographiées sur une même feuille séparée et porter les numéros des figures.

Il est demandé d'indiquer sur le manuscrit, dans la marge, en regard du texte, l'emplacement souhaité des tableaux et figures.

Envoi du manuscrit : M. RIVES ; Centre de Recherches de Bordeaux, 33140 Pont de la Maye, France. On demande deux exemplaires.

Correction des épreuves : les épreuves que les auteurs recevront à corriger sont à retourner, après correction, à cette même adresse.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

PÉRIODIQUES

TARIF DES ABONNEMENTS POUR 1975	France	Étranger	Le N°
ANNALES AGRONOMIQUES, 6 nos par an	225 F	246 F	45 F
ANNALES DE L'AMÉLIORATION DES PLANTES, 4 nos par an	175 F	194 F	55 F
ANNALES DE PHYTOPATHOLOGIE, 4 nos par an	200 F	220 F	70 F
ANNALES DE ZOOLOGIE-ÉCOLOGIE ANIMALE, 4 nos par an	200 F	220 F	70 F
ANNALES DE ZOOTECHNIE, 4 nos par an	200 F	220 F	70 F
ANNALES DE TECHNOLOGIE AGRICOLE, 4 nos par an	175 F	194 F	55 F
ANNALES DE BIOLOGIE ANIMALE, BIOCHIMIE, BIOPHYSIQUE 4 nos par an	225 F	246 F	75 F
ANNALES DES SCIENCES FORESTIÈRES, 4 nos par an	175 F	194 F	55 F
ANNALES DE GÉNÉTIQUE ET DE SÉLECTION ANIMALE, 4 nos par an	200 F	220 F	70 F
ANNALES DE RECHERCHES VÉTÉRINAIRES, 4 nos par an	200 F	220 F	70 F
ANNALES D'HYDROBIOLOGIE, 2 nos par an	105 F	116 F	70 F

APIDOLOGIE, 4 nos par an — Abonnement : France : 50 F
Étranger sauf R. F. A. : 60 F
— Le numéro : France : 15 F
Étranger sauf R. F. A. : 20 F

DERNIERS OUVRAGES PARUS

Le Pois. Étude génétique des caractères, classification, caractéristiques variétales portant sur les variétés inscrites au catalogue officiel français, par **R. Cousin.**
111 p. et 140 fiches, 1974 ..... 150,00 F

Contribution à l'étude de la Faune de France. Systématique de la tribu des Scymnini (Coccinellidae), par **J. M. Gourreau.**
223 p., 1974 ..... 85,00 F

Les arbres et arbrisseaux acclimatés en région méditerranéenne française. Catalogue commenté, par **P. Augé, P. Allemand, R. Hamès.**
144 p., 1973 ..... 58,85 F

Colloque sur l'ovogenèse et la folliculogenèse, Nouzilly, 14-16 déc. 1972.
258 p., 1973 ..... 120,00 F

Protoplastes et fusion de cellules somatiques végétales, Versailles, 11-15 septembre 1972. Coédition I. N. R. A.-C. N. R. S.
549 p., 1973 ..... 160,50 F

Recherches acridiennes à Madagascar.
262 p., 1972 ..... 80,00 F

IVe Conférence du groupe international d'étude des virus et des maladies à virus de la vigne, Colmar 16-18 juin 1970.
211 p., 1972 ..... 60,00 F

Lombriciens de France, Écologie et Systématique par **M.-B. Bouché.**
671 p., 1972 ..... 150,00 F

IIIe Conférence du Groupe consultatif des Statisticiens forestiers, Jouy en Josas, 7-11 septembre 1970.
332 p., 1972 ..... 139,75 F

Symposium international sur le soufre en Agriculture. Versailles, 3-4 décembre 1970.
412 p., 1972 ..... 50,00 F

Organismes du Sol et production primaire — IVe Colloquium pedobiologiae, Dijon 14-19 septembre 1970.
588 p., 1972 ..... 65,00 F

La lutte biologique en forêt, Pont-à-Mousson, 12-14 novembre 1969.
212 p., 1971 ..... 45,00 F

VIIIe Symposium européen sur les maladies à virus des arbres fruitiers. Bordeaux, 24-30 juin 1970.
560 p., 1971 ..... 65,00 F

Essai de programmation de la Recherche (Département agronomie) par **D. Macquart, R. Gras, J. Mamy, L. Turc, J.-P. Deffontaines.**
70 p., 1971 ..... 30,00 F

Les demandes d'abonnements et les commandes doivent être adressées au Service des Publications de l'Institut national de la Recherche agronomique, route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.
Règlement : par chèque bancaire à l'ordre du Régisseur des Publications de l'I. N. R. A., par virement postal à son compte courant : 9064-43 Paris, sans mentionner d'adresse, ou par bons U. N. E. S. C. O.
Les demandes peuvent être souscrites également par l'intermédiaire des libraires dans les conditions habituelles.
A Paris, bureau de vente : 11, rue Jean-Nicot.

Ann. Amélior. Plantes, 1974, **24** (4).

TABLE DES MATIÈRES

P. de Reffye, S. Essad. — Étude des relations métriques dans la spirale majeure de deux paires de chromosomes de *Lolium perenne* L. 335

M. Arnoux. — Recherches sur la Canne de Provence (*Arundo donax* L.) en vue de sa production et de sa transformation en pâte à papier 349

L. Jestin. — Les variations de la teneur en protéines brutes chez l'Orge selon la variété et le milieu : étude préliminaire à partir d'essais culturaux 377

R. Dumas de Vaulx. — Étude des possibilités d'utilisation de la polyploïdie dans l'amélioration du Melon (*Cucumis melo* L.) 389

Ch. Grasselly, H. Damavandy-Kozakonane. — Étude des possibilités de production d'hybrides F_1 intra- et interspécifiques chez le sous-genre *Amygdalus*. II. — Combinaisons réciproques : *Prunus amygdalus* et *Prunus persica* 405

Notes.

V. Grigorian. — Quelques aspects de l'embryogenèse chez l'Amandier 415

CONTENTS

P. de Reffye, S. Essad. — Metric relations in the major spiral of two pairs of *Lolium perenne* chromosomes 335

M. Arnoux. — Growing and processing of a giant reed, *Arundo donax* L., as a potential papermaking raw material 349

L. Jestin. — Variations of crude proteins content in Barley according to variety and environment : preliminary study following cultural tests 377

R. Dumas de Vaulx. — The possibility of using polyploidy in Muskmelon breeding (*Cucumis melo* L.) 389

Ch. Grasselly, H. Damavandy-Kozakonane. — Study of the possibilities of producing intra- and interspecific F_1 hybrids in the sub-genus *Amygdalus*. II. — Reciprocal combinations : *Prunus amygdalus* and *Prunus persica* 405

Notes.

V. Grigorian. — Some aspects of embryogenesis in Almond 415

Les Annales de l'Amélioration des Plantes figurent dans Current Contents.

I. N. 4. 036. 022.